



**STATION DE RECHERCHES
SUR LA
QUALITÉ DES BOIS**

**RELATIONS ENTRE CONTRAINTES DE CROISSANCE
ET VEINE VERTE CHEZ LE MERISIER
(Prunus avium)**

Patrick LANGBOUR

D.E.A. SCIENCES DU BOIS

*Cette étude a été réalisée dans le cadre du
Groupement Scientifique "Rhéologie du Bois"
et du contrat M.R.T. n° 85 G 0186
"Amélioration, sylviculture et qualité du bois
des feuillus précieux"*

RELATIONS ENTRE CONTRAINTES DE CROISSANCE
ET VEINE VERTE CHEZ LE MERISIER
(*Prunus avium*)

Patrick LANGBOUR

REMERCIEMENTS

Que toutes les personnes qui ont collaboré à cette étude soient remerciées, notamment :

- les responsables et le personnel de l'Office National des Forêts ainsi que les maires des communes qui nous ont fourni les arbres nécessaires à l'étude,
 - les membres du C.R.P.F. Alsace-Lorraine qui nous ont aidé sur le terrain,
 - les responsables et le personnel de la Station Qualité Bois qui nous ont conseillé et ont participé aux mesures,
 - les chercheurs du C.T.F.T. et du C.T.B. qui nous ont conseillé et aimablement prêté du matériel,
 - le M.R.T. qui a participé financièrement à cette étude dans le cadre du contrat "Feuillus précieux",
 - les industriels qui nous ont apporté de précieux renseignements sur le bois de merisier.
-

S O M M A I R E

	Pages
1 - <u>INTRODUCTION</u>	1
2 - <u>APERCU SUR LES CONTRAINTES DE CROISSANCE</u>	5
2.1. - GENERALITES	5
2.2. - ORIGINE DES CONTRAINTES DE CROISSANCE	5
2.3. - ASPECT THEORIQUE	7
2.4. - DEFORMATION INDUITE PAR LES CONTRAINTES DE CROISSANCE	11
2.5. - INCONVENIENTS DES CONTRAINTES DE CROISSANCE	11
2.5.1. - A l'abattage	11
2.5.2. - Au débit	12
3 - <u>MATERIEL DE L'ETUDE</u>	15
3.1. - CHOIX DES ARBRES	15
3.2. - PROBLEMES RENCONTRES POUR LE CHOIX DES ARBRES	
4 - <u>MATERIELS ET METHODES</u>	19
4.1. - CHOIX ET DESCRIPTION D'UN CAPTEUR	19
4.1.1. - Etalonnage du capteur	20
4.2. - MESURES SUR LE TERRAIN	23
4.2.1. - Relevé de houppier	23
4.2.2. - Mesure de déformations longitudinales - prélèvement de carottes	23
4.2.3. - Opérations réalisées pour un point de mesure	23
4.2.4. - Abattage - découpe de l'arbre	28
4.2.5. - Débit	30
4.2.5.1. - Prélèvement d'une dosse dans la zone périphérique tendue	30
4.2.5.2. - Débit complet du billon et observation de la présence ou non de la veine verte	31
4.2.6. - Mesures réalisées sur les carottes de sondage	32
4.2.6.1. - Diamètres tangentiel et axial des carottes saturées d'eau	32
4.2.6.2. - Retrait tangentiel et axial	33
4.2.6.3. - Infradensité	33
4.2.6.4. - Largeur moyenne de cerne	34
4.2.6.5. - Importance de l'aubier	34
5 - <u>RESULTATS</u>	35
5.1. - VARIABILITE DES CARACTERES ETUDIES	35
5.1.1. - Caractéristiques dendrométriques	35
5.1.2. - Effets "arbre", "hauteur" et "orientation" sur les différentes variables étudiées	35

5.1.3. - Variabilité des déformations longitudinales résiduelles mesurées à l'aide du capteur "Guéneau-Saurat"	38
5.1.3.1. - Sur l'ensemble des 240 observations	38
5.1.3.2. - Variabilité dans l'arbre	39
5.1.3.3. - Variation autour de l'arbre et en hauteur	39
5.1.4. - Variabilité du diamètre tangentiel (DTAM010)	42
5.1.4.1. - Sur l'ensemble des 10 arbres	42
5.1.4.2. - Variabilité dans l'arbre	43
5.1.4.3. - Variation autour de l'arbre et en hauteur	43
5.1.5. - Variabilité de la veine verte	44
5.1.5.1. - Sur l'ensemble des arbres	44
5.1.5.2. - Variation autour de l'arbre et en hauteur.....	44
5.1.6. - Variabilité de l'infradensité	45
5.1.6.1. - Sur l'ensemble des 240 observations	45
5.1.6.2. - Variabilité par arbre	45
5.1.7. - Variabilité des retraits tangentiel et axial	45
5.1.7.1. - Retrait tangentiel	46
5.1.7.2. - Retrait axial	47
5.2. - LIAISON DIAMETRE TANGENTIEL DE CAROTTE - DEFORMATION LONGITUDINALE ENREGISTREE AVEC LE CAPTEUR "GUENEAU et SAURAT" ...	47
5.2.1. - Liaison interarbre et intra-arbre	47
5.3. - LIAISON ENTRE LES DIFFERENTES DEFORMATIONS RESULTANT DE LA MODIFICATION DE L'ETAT DES CONTRAINTES DE CROISSANCE LORS DU DEBIT D'UNE PART, LE DIAMETRE TANGENTIEL ET LES DEFOR- MATIONS LONGITUDINALES MESUREES SUR L'ARBRE D'AUTRE PART	51
5.3.1. - Liaison entre l'importance des fentes à l'abattage et DTMA10	51
5.3.2. - Liaison entre l'importance des fentes et les déformations longitudinales mesurées sur l'arbre	53
5.3.3. - Liaison entre l'ouverture du trait de scie et le diamètre tangentiel des carottes	53
5.3.4. - Liaison entre l'ouverture du trait de scie et les défor- mations longitudinales mesurées sur l'arbre	54
5.3.5. - Liaison entre la déformation longitudinale d'une dosse prélevée dans la zone tendue et le diamètre tangentiel des carottes	55
5.3.6. - Liaison entre la déformation longitudinale d'une dosse prélevée dans la zone tendue et les déformations longitudinales sur l'arbre	55
5.4. - LIAISON ENTRE LA PRESENCE DE VEINE VERTE D'UNE PART, LE DIAMETRE TANGENTIEL DES CAROTTES ET LES DEFORMATIONS LONGITUDINALES MESUREES SUR L'ARBRE D'AUTRE PART	56

5.5. - LIAISON DU DIAMETRE TANGENTIEL DES CAROTTES ET DES DEFORMATIONS LONGITUDINALES MESUREES SUR L'ARBRE AVEC LES PRINCIPALES CARAC- TERISTIQUES DENDROMETRIQUES DES ARBRES DE L'ETUDE	57
5.5.1. - Liaison entre les principales caractéristiques dendrométriques et le diamètre tangentiel	57
5.5.2. - Liaison entre les principales caractéristiques dendrométriques et les déformations longitudinales	58
6 - <u>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</u>	60
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	64
<u>ANNEXES</u>	66

1. INTRODUCTION

Au Moyen Age il n'était pas permis de couper les merisiers (Prunus avium) afin que les gens puissent se nourrir de ses fruits.

Mais depuis 1669, date de l'ordonnance forestière de Colbert, on peut abattre ces arbres. Dès lors menuisiers-ébénistes et artisans ont réalisé meubles simples, de styles, instruments de musique, tonneaux...

Aujourd'hui encore, l'attrait pour les meubles en merisier est important, si bien que pour approvisionner les utilisateurs, il est nécessaire d'importer du bois des Etats-Unis (Prunus serotina) et des pays de l'Est, la production française ne suffisant plus. Des efforts sont réalisés, par l'Institut du Développement Forestier notamment, pour encourager les sylviculteurs et propriétaires forestiers à cultiver du merisier de qualité lorsque les conditions le permettent. Ce succès s'explique en partie de par les qualités esthétiques et technologiques du bois de merisier ; en effet sa couleur brun-rosé, fonçant à la lumière, son grain fin dû à sa structure semi-homogène (zone initiale semi-poreuse), sa maillure distincte sur quartier quelquefois légèrement veinée y contribuent pour beaucoup.

. Dans une publication du CTB, décrivant les différents bois utilisés en France [CTB - 1983] il est décrit de cette façon :
"bois mi dur-mi lourd ($d = 0,50$ à $0,65$) retrait moyen quelquefois assez nerveux - bonne résistance comme tous les fruitiers - se scie bien - sèche assez rapidement mais difficilement - usinage facile - se prête bien au moulurage, toupillage cintrage. Se colle bien, se peint, se cire, se vernit bien".

. Les grumes suivant leur qualité peuvent être sciées ou tranchées, aussi les exigences des utilisateurs de placages (fabricants de meubles, fabricants de panneaux, menuisiers-ébénistes, installateurs) seront différentes de ceux employant des sciages (fabricants de meubles, menuisiers-ébénistes, installateurs).

. Parmi les critères de choix des premiers on trouve : les dimensions (épaisseurs : 6/10e, 10/10e, 12/10e, 15/10e mm ; largeurs : 0,10 m et plus ; longueur : 1,5 m, 2,2 m à 3,5 m) fil droit, grain fin, largeur de cernes, pas ou peu de singularités (noeuds, picots...) couleurs régulières ou veinées.

. Les utilisateurs de sciages sont moins sévères, notamment sur la présence de noeuds, picots, rectitude du fil, régularité de la couleur, car ils arrivent à placer dans un meuble du bois avec quelques défauts légers.

. Ces deux classes d'utilisateurs sont unanimes pour signaler un défaut qui les gêne parfois beaucoup : la veine verte, c'est une coloration verdâtre plus ou moins accentuée qui apparaît par bande dans le duramen de couleur brun-rosé.

Cette discoloration entraîne un déclassement des placages et des sciages voire dans les cas extrêmes une destruction. Pour mieux se rendre compte de l'importance de ce défaut, nous avons envoyé un petit questionnaire [Annexe 1] à différents scieurs et trancheurs de merisiers, choisis dans l'annuaire des industriels du bois [France Bois]. Outre l'importance de la veine verte il est également demandé des précisions sur l'aspect des grumes touchées ou non par la veine verte (rectitude, fente...) ; précisions également demandées sur les différents produits obtenus (déformation, coloration et évolution...).

Au vu des réponses (10 enquêtes retournées sur 23 envoyées) il serait bien hasardeux de tirer des conclusions, néanmoins, il ressort que :

- la veine verte touche une quantité non négligeable de la production de sciage et de placage de Merisier (tendance vers les 25 %, chiffre déjà avancé par Masset [P.L. MASSET, 1977] ;

- les arbres ou grumes (*) touchés ne diffèrent pas des autres au point de vue aspect extérieur - conformité - largeur de cerne, mais que le bois avec veine verte serait plus nerveux (**) que les produits en sont exempts.

*) il faut préciser que les scieurs, en général, stockent les plus belles billes pour les revendre aux trancheurs, ce qui peut "fausser" les réponses données.

**) Lorsque les gens de la profession parlent de bois nerveux il est difficile de faire la part des problèmes liés au séchage (variation dimensionnelle...) de ceux observés lors des abatages (fentes, éclatements des grumes) ou lors du débit (déformations...).

Peu d'articles ont été consacrés à la veine verte ; néanmoins J.C. Ferrand [J.C. FERRAND, 1983] a montré à l'aide de coupes anatomiques colorées (technique de double coloration bleu astra + safranine) que les échantillons avec veine verte avaient le même aspect que le bois de tension : paroi cellulaire plus épaisse due à la présence d'une couche gélatineuse cellulosique appelée couche G. D'autre part, Polge [H. POLGE 1984] a comparé des échantillons sans et avec une veine verte et il ressortait de son étude que les échantillons avec veine verte avaient un fort pourcentage de bois de tension et se différenciaient des témoins par des valeurs élevées pour le retrait longitudinal, rendement en fibres, longueur des fibres et pour la vitesse des ultrasons (ondes longitudinales).

Chez les feuillus, le bois de tension a une structure cellulaire différente d'un bois "normal" ; cette différence se situe au niveau des parois cellulaires, ces dernières étant plus épaisses à cause d'une couche gélatineuse G riche en composés cellulosiques et peu lignifiée. Ce bois de tension se rencontre plus particulièrement dans la partie "tendue" des feuillus inclinés et la partie supérieure des branches des feuillus.

Différents chercheurs ont montré également qu'il y avait du bois de tension dans les arbres fortement contraints, c'est le cas chez Fagus sylvatica, Populus chez le Wapa [O. LENZ et H. STRASSLER, 1959] [P. GUENEAU et Y. TRENARD, 1974] [J.C. FERRAND, 1981] [A. MARIAUX, 1981].

A la station Qualité-Bois du C.N.R.F. Polge et Thiercelin [H. POLGE, F. THIERCELIN, 1979] ont trouvé la relation entre le diamètre tangentiel des carottes de sondage et les déformations longitudinales relation confirmée par Ferrand [J.C FERRAND, op. cit.].

Ainsi connaissant les liaisons [diamètres tangentiels-déformations], [déformation-bois de tension] et [bois de tension-veine verte], nous avons orienté l'étude sur la base de celle-ci en essayant de répondre à différentes questions :

1. La liaison entre déformation longitudinale résiduelle et diamètre tangentiel est-elle confirmée chez le merisier ?

2. Existe-t-il une liaison entre le diamètre tangentiel des carottes de sondage et :

- les différentes déformations apparaissant lors du tronçonnage et du débit ?
- la présence de veine-verte ?

3. Existe-t-il une liaison entre les déformations longitudinales résiduelles et :

- les différentes déformations apparaissant lors du tronçonnage et du débit ?
- la présence de veine verte ?

4. Peut-on proposer au forestier une méthode simple lui permettant de détecter un arbre susceptible d'avoir de la veine verte, de fendre à l'abattage ou de se déformer de manière importante au débit ?

2. APERCU SUR LES CONTRAINTES DE CROISSANCE

2.1. Généralités

L'évolution d'un arbre dans l'espace et le temps est conditionnée en partie par le sol, par son proche environnement et par d'éventuels éléments (vents...). En effet dans le sol l'arbre puise ce dont il a besoin (eau, sels minéraux...) par l'intermédiaire de son système racinaire qui lui permet également de "tenir debout" ; en fonction de sa position vis-à-vis d'autres arbres (ou autres éléments : bâtiments...), de la pente du terrain, des vents dominants, et de son besoin de lumière, l'arbre va se placer, grandir, se ramifier pour assurer de façon optimum la fonction de photosynthèse nécessaire à son développement.

Le tronc de l'arbre est donc soumis naturellement à un système complexe de forces internes qui font du bois un matériau naturellement "précontraint". On trouve des contraintes longitudinales de traction en périphérie du tronc et de compression dans la partie centrale, et des contraintes transversales passant de la compression à la traction suivant le sens écorce-moëlle [cf. fig. 1].

Les contraintes de croissance qui sont certainement nécessaires à l'arbre, deviennent gênantes lorsqu'on abat l'arbre et qu'on le débite. En effet, les forces internes se trouvent alors modifiées et entraînent fentes et déformations plus ou moins prononcées sur le tronc et les débits.

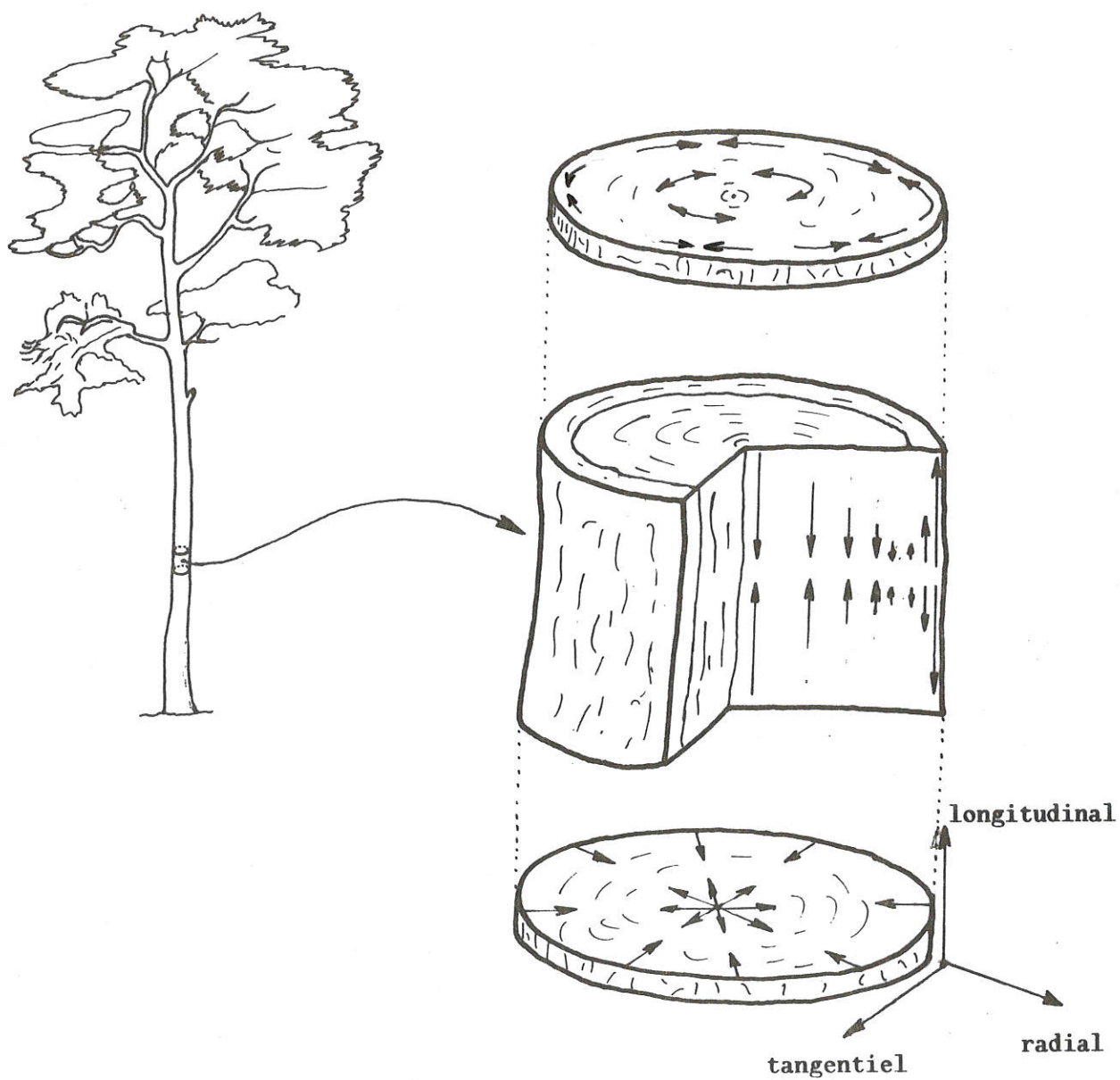
2.2. Origine des contraintes de croissance

De nombreux auteurs ont formulé des hypothèses pour tenter d'expliquer l'origine des contraintes de croissance.

. Boyd relie celles-ci au processus de lignification qui se déroule au niveau de la couche secondaire de la paroi cellulaire.

FIGURE n° 1

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES PRINCIPALES TENSIONS DE CROISSANCE
DANS UN TRONC D'ARBRE



. Certains auteurs sont en désaccord avec ces idées [R.K. BAMBER, 1979], aussi dans une récente publication, Boyd [J.D. BOYD, 1985] remet en cause ses explications et avance une autre hypothèse liée aux travaux de Murphey [W.K. MURPHEY, 1963]. Ce serait la cristallisation continue des microfibrilles de cellulose après leur formation qui engendrerait les contraintes de croissance.

Pour l'essentiel on peut retenir que les modifications chimiques au niveau de la paroi cellulaire entraîneraient un gonflement transversal par suite d'une contraction axiale des fibres des feuillus (des Trachéides des Résineux).

L'importance de ces déformations dépend de l'angle des microfibrilles de la couche secondaire (S2).

. L'importance de ces modifications chimiques est certainement propre à chaque espèce et également liée à différents facteurs influençant la croissance de l'arbre (phototropisme, vent dominant, poids de l'arbre...). Suite aux phénomènes de relaxation de contrainte et de fluage, les tensions sur ces parois cellulaires se modifient et ces tensions résiduelles sont moins importantes que les tensions initiales.

Enfin, la présence de cellules nouvellement formées, le phénomène de relaxation des contraintes, la répartition du poids de l'arbre, tous ces facteurs font qu'une cellule au cours de son existence sera soumise à des tensions différentes qui iront en augmentant.

2.3. Aspect théorique

Un des premiers à donner une expression mathématique de ces contraintes est Kübler [H. KUBLER, 1959] qui utilisa les travaux de ces prédécesseurs [M.R. JACOBS, 1939 ; J.D. BOYD, 1950] pour poser comme hypothèse de calcul, deux idées importantes :

- la différenciation cellulaire au niveau de l'assise génératrice librero-ligneuse engendre de nouvelles cellules vers l'extérieur et vers l'intérieur du tronc ce qui fait augmenter la circonférence de l'arbre. Cet accroissement s'accompagne, dans les cellules nouvellement formées, de l'apparition d'une contrainte longitudinale de traction ($\vec{\sigma}_{La}$) et d'une contrainte tangentielle de compression ($\vec{\sigma}_{Ta}$) ;

- les valeurs des contraintes $\vec{\sigma}_{La}$ et $\vec{\sigma}_{Ta}$ sont constantes.

A partir de là, il a posé les équations différentielles qui une fois intégrées ont donné les équations suivantes :

$$\sigma_L = \sigma_{La} (1 + 2 \ln \frac{r}{ra}) \quad (1)$$

2ra = diamètre du tronc

$$\sigma_T = \sigma_{Ta} (1 + \ln \frac{r}{ra}) \quad (2)$$

r = distance entre la
moëlle et le point

$$\sigma_R = \sigma_{Ta} (\ln \frac{r}{ra}) \quad (3)$$

considéré.

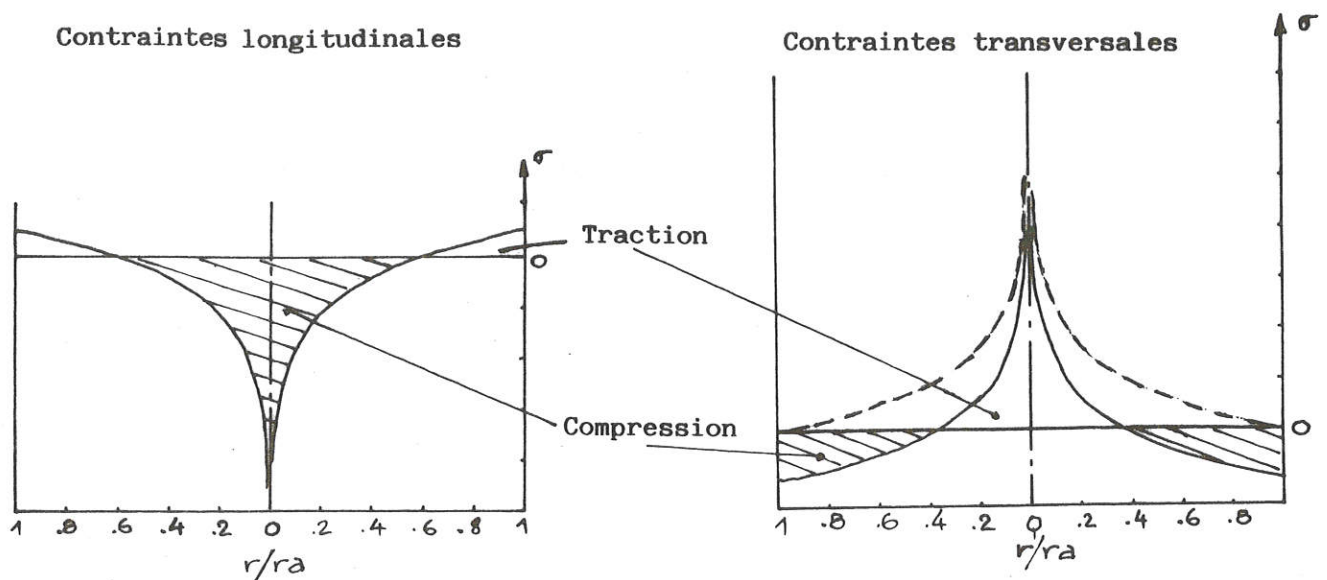
Kübler obtient l'équation 3 en considérant les déformations radiales comme une simple conséquence de la contrainte tangentielle, mais il reconnaît son imprécision au voisinage de l'écorce. En faisant $r = ra$ on a $\sigma_R = 0$ ce qui est réellement inexact, puisque l'écorce entourant le bois exerce une légère compression radiale ($\sigma_R \neq 0$).

. On remarque que si l'on fait tendre r vers 0 ($r \rightarrow 0$) σ_L et σ_T deviennent infiniment grandes; De plus lorsqu'on s'approche du coeur il existe une zone de déformations plastiques et non plus élastique qui peut se caractériser chez l'Eucalyptus, par exemple, par le phénomène de "Brittle-heart" (coeur fragile).

. On remarque également que ces formules traduisent des variations des contraintes longitudinales, tangentielles et radiales en fonction du diamètre de l'arbre, mais qu'elles ne traduisent pas ce que beaucoup ont montré [O. LENZ et H. STRASSLER, 1959, op. cit. ; J.E. NICHOLSON, 1973 ; P. GUENEAU et S. SAURAT, 1974 ; J.C. FERRAND 1981, op. cit.] à savoir une variation autour du tronc sur une même circonférence.

Archer a essayé d'analyser mathématiquement ce problème de dissymétrie des contraintes autour du tronc [R.R. ARCHER, 1976-1985].

FIGURE n° 2
 CONTRAINTES LONGITUDINALES ET TRANSVERSALES (d'après KUBLER, 1959)



2.4. Déformation induite par les contraintes de croissance

Dans la mécanique du solide, on parle de champ de contraintes et champ de déformations et il est intéressant de pouvoir passer de l'un à l'autre, mais cela nécessite la connaissance des valeurs numériques des constantes mécaniques du matériau étudié.

Pour le matériau "bois", les différentes propriétés de base (anatomique, physique, mécanique...) varient d'un point à un autre mais également d'une direction à une autre (hétérogénéité et anisotropie), ainsi la connaissance des valeurs numériques de ces constantes n'est pas simple.

Si l'on se base, pour le bois, sur un modèle qui suppose l'élasticité parfaite avec une symétrie matérielle orthotrope, le nombre de constantes mécaniques ou "Rhéologiques" est de neuf.

Soit $(\vec{R}, \vec{T}, \vec{L})$ un référentiel local de symétrie orthotrope se présentant ainsi :

\vec{R} : suivant la direction radiale de la grume

\vec{T} : suivant la direction tangentielle

\vec{L} : suivant la direction longitudinale

Avec l'hypothèse d'orthotropie dans le référentiel $(\vec{R}, \vec{T}, \vec{L})$ la loi de comportement élastique s'écrit :

$$[E] = \begin{vmatrix} \epsilon_R \\ \epsilon_T \\ \epsilon_L \\ \gamma_{TL} \\ \gamma_{LR} \\ \gamma_{RT} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & \frac{1}{E_T} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & \frac{1}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{TL}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sigma_R \\ \sigma_T \\ \sigma_L \\ \tau_{TL} \\ \tau_{LR} \\ \tau_{RT} \end{vmatrix}$$

avec

$$\frac{\nu_{TR}}{E_T} = \frac{\nu_{RT}}{E_R} ; \quad \frac{\nu_{LT}}{E_L} = \frac{\nu_{TL}}{E_T} ; \quad \frac{\nu_{RL}}{E_R} = \frac{\nu_{LR}}{E_L}$$

d'après les équations de Kübler, pour un arbre de rayon R on a :

$$\cdot \sigma_R = \sigma_{Ta} \left(\ln \frac{r}{R} \right)$$

$$\cdot \sigma_T = \sigma_{Ta} \left(1 + \ln \frac{r}{R} \right)$$

$$\cdot \sigma_L = \sigma_{La} \left(1 + 2 \ln \frac{r}{R} \right)$$

en remplaçant dans [E], il vient :

$$\cdot \epsilon_R = -\frac{1}{E_R} (\nu_{RL} \sigma_{La} + \nu_{RT} \sigma_{Ta}) + \frac{1}{E_R} (\sigma_{Ta} (1 - \nu_{RT}) - \nu_{RL} 2 \sigma_{La}) \log \frac{r}{R}$$

$$\cdot \epsilon_T = \frac{1}{E_T} (\sigma_{Ta} - \nu_{TL} \sigma_{La}) + \frac{1}{E_T} (\sigma_{Ta} (1 - \nu_{TR}) - \nu_{TL} 2 \sigma_{La}) \log \frac{r}{R}$$

$$\cdot \epsilon_L = \frac{1}{E_L} (\sigma_{La} - \nu_{LT} \sigma_{Ta}) + \frac{1}{E_L} (2 \sigma_{La} - (\nu_{LR} + \nu_{LT}) \sigma_{Ta}) \log \frac{r}{R}$$

pratiquement, les mesures les plus aisées sont celles des déformations longitudinales et tangentielles résiduelles, situées en périphérie du tronc ($r = R$), dans ce cas les équations se simplifient pour donner :

$$\epsilon_L = \frac{1}{E_L} (\sigma_{La} - \nu_{LT} \sigma_{Ta}) \quad (\epsilon_R = - \frac{1}{E_R} (\nu_{RL} \sigma_{La} + \nu_{RT} \sigma_{Ta}))$$

$$\epsilon_T = \frac{1}{E_T} (\sigma_{Ta} - \nu_{TL} \sigma_{La})$$

La connaissance des caractéristiques élastiques du bois est nécessaire pour en déduire les contraintes σ_{La} et σ_{Ta} .

$$\begin{aligned} \sigma_{La} &= E_L \left(\frac{\epsilon_L + \nu_{TL} \epsilon_T}{1 - \nu_{TL} \nu_{LT}} \right) \\ \sigma_{Ta} &= E_T \left(\frac{\epsilon_T + \nu_{LT} \epsilon_L}{1 - \nu_{TL} \nu_{LT}} \right) \end{aligned} \quad (\sigma_{Ra} = 0)$$

2.5. Inconvénients des contraintes de croissance

Les tensions de croissance ne sont pas un inconvénient pour l'arbre mais pour l'homme qui veut l'utiliser. Entre le moment où l'arbre est abattu et l'instant où l'on emploie des pièces de bois issues de cet arbre, ce dernier a subi bon nombre de transformations. Aussi, les perturbations des tensions de croissance peuvent se manifester par des déformations importantes, visibles qui entraînent généralement une perte de qualité des produits obtenus.

Ce déclassement peut avoir une incidence financière non négligeable pour les scieries qui façonnent des essences plus particulièrement concernées par les tensions de croissance (hêtre, peuplier, eucalyptus, wapa...).

2.5.1. A l'abattage

Le fait d'abattre un arbre nécessite de le scier transversalement à la base (ou à une distance raisonnable du sol pour certaines essences tropicales présentant des contreforts) ce qui entraîne une modification rapide du champ des contraintes qui s'accompagne immédiatement de déformations plus ou moins importantes.

L'intensité des déformations est parfois très élevée tant et si bien que l'arbre "éclate" avant même qu'il soit complètement tronçonné. On imagine aisément le danger que cela représente pour les bûcherons. Il existe certaines techniques d'annelation (réalisation d'une

ou plusieurs gorges), cerclage de la base de l'arbre de façon à limiter l'éclatement et pour protéger le bûcheron.

Moins spectaculaire que l'éclatement, est l'apparition de fentes qui peuvent apparaître soit à l'abattage, au débranchage ou au tronçonnage de l'arbre en billons de longueurs industriellement intéressantes. Ce phénomène de fentes est dû à la suppression locale de tensions longitudinales, ainsi il ne subsiste que des tensions radiales et tangentiellles qui font fendre les billes.

2.5.2. Au débit

Avant débit les grumes subissent bon nombre de manipulations plus ou moins brutales (lors du débardage, chargement, déchargement sur parc à grumes), qui doivent agir sur l'évolution des différentes tensions internes.

Lors des différents débits qu'un billon peut subir, les tensions existant au sein de celui-ci se trouvent fortement perturbées. L'aspect et l'importance des déformations [fig. 3] montrent le lien qu'elles ont avec les différentes tensions existantes avant débit notamment avec le gradient radial des tensions longitudinales.

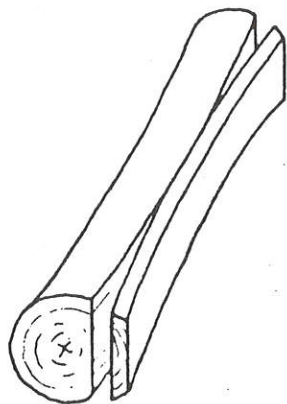
A noter que le matériel utilisé lors du sciage (scie, lame, chariot, griffes...), peut subir également des déformations voir des endommagements.

. Il faut préciser que ces billons peuvent également être stockés un certain temps avant d'être débités. Ainsi, aux modifications des tensions viennent s'ajouter des phénomènes de séchage, de fluage, de relaxation de contrainte, qui compliquent la compréhension des choses.

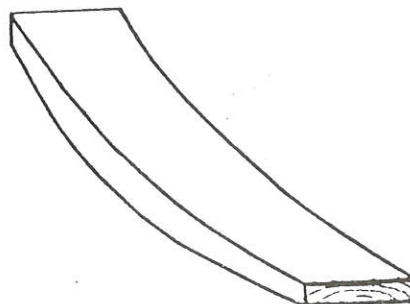
. Comme dans le cas de l'abattage, il existe au niveau du stockage et du débit quelques techniques permettant de limiter les pertes dues aux déformations excessives des pièces.

. Certains conseillent de stocker les grumes plusieurs semaines voire plusieurs mois afin que les phénomènes de fluage, de relaxation des contraintes jouent un rôle bénéfique sur l'importance des déformations.

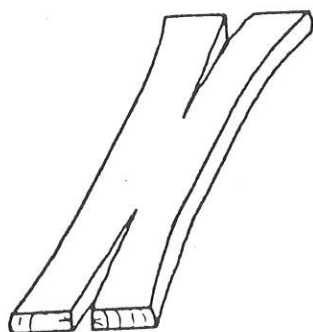
FIGURE n° 3 :
DIFFERENTS TYPES DE DEFORMATIONS SUR LES DEBITS (d'après GUENEAU, 1973)



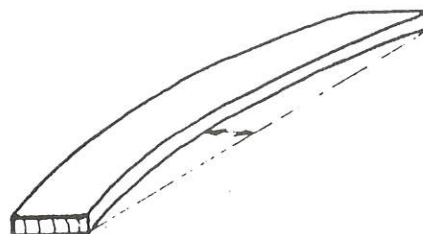
— Déformation d'une pièce sur dosse et de la bille.



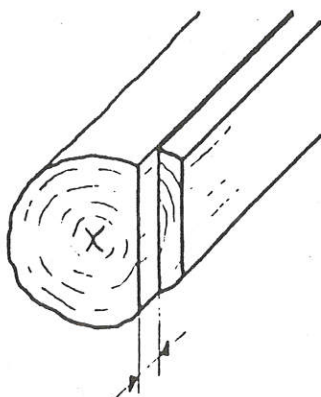
Inégalité d'épaisseur
due aux contraintes de croissance.



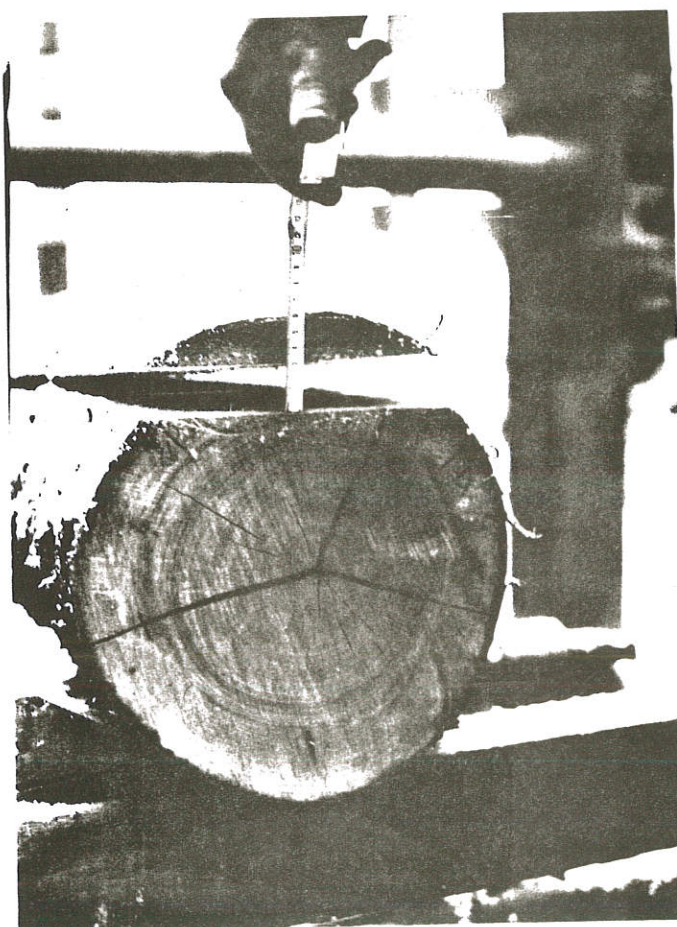
Forme d'une pièce de cœur.



Forme d'une pièce sur maille.



Raccourcissement d'une planche tirée
de la partie périphérique.



. L'expérience du "scieur de tête" permet de bien positionner une grume sur le chariot afin de minimiser l'importance d'éventuelles déformations.

Sa tâche peut être facilitée à l'aide de quelques moyens techniques (barre de guidage, débit parallèle au fil du bois...).

Nous venons de voir combien les contraintes de croissance avaient de l'importance pour cette branche de l'industrie du bois qu'est la scierie.

C'est pourquoi, outre les astuces techniques permettant de limiter les pertes, une meilleure connaissance du phénomène permettra au forestier, qui appliquera des méthodes de sylviculture appropriées, de produire des grumes de meilleures qualités.

3. MATERIEL DE L'ETUDE

3.1. Choix des arbres

L'étude s'est faite sur 10 arbres choisis parmi un ensemble de 333 individus qui avaient déjà fait l'objet d'une étude menée conjointement par le CRPF LORRAINE ALSACE et la Station QB du CNRF en 1983.

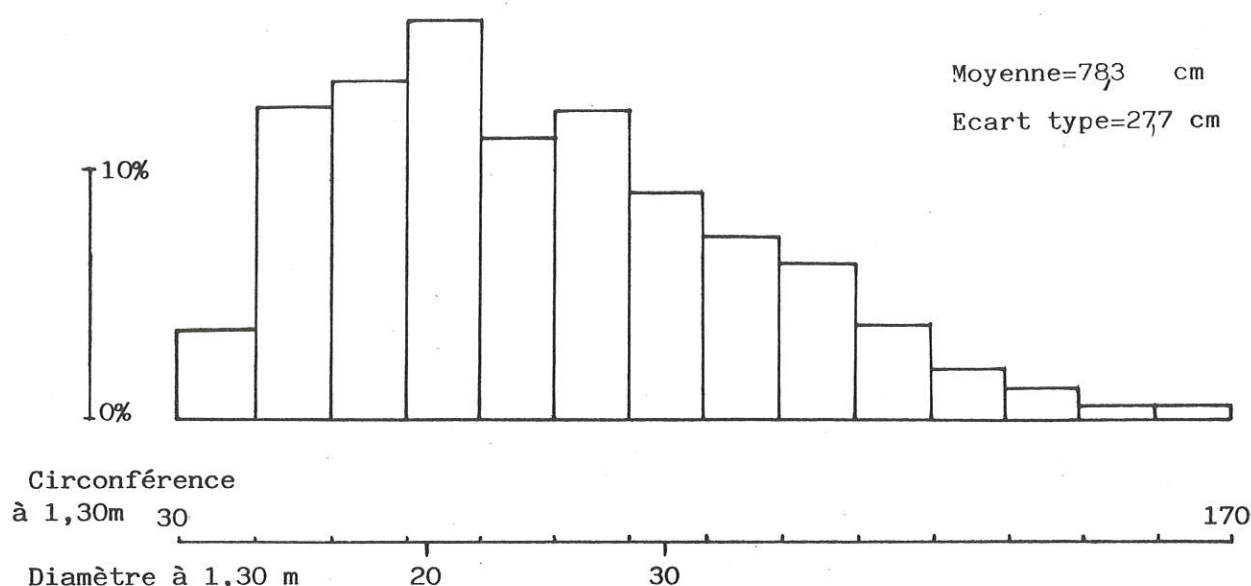
Sur ces arbres nous disposions d'un certain nombre de données ; tout d'abord des données dendrométriques telles que circonférence à 1,30 m, hauteur totale, hauteur première branche principale, importance du Houppier, note de forme, inclinaison,...). Sur chaque arbre il avait été prélevé, à hauteur d'homme, deux carottes de sondage, une du côté supposé "tendu" et une à 90 degrés de cette dernière, c'est-à-dire d'un côté supposé "neutre". Sur ces carottes ont été mesurés à l'aide du capteur réalisé par J.R. PERRIN et décrit par Ferrand [J.C. FERRAND, op. cit.], les diamètres axial et tangentiel sur une zone de 20 mm située à 5 mm de l'écorce.

Il a également été mesuré à l'aide d'un micromètre, la longueur moëlle-écorce à l'état saturé et "sec à l'air" (contrôlé et voisin de 12 %), nombre de cernes, infradensité ; les retraits Tangentiel, Radial et axial ont été calculés.

Au vu de l'histogramme des circonférences [fig. 4], on s'aperçoit qu'une majorité d'arbres ont un diamètre compris entre 10 et 30 cm.

Ainsi on a décidé de retenir des arbres dont le diamètre se situe entre 20 et 30 cm. Ceci afin de ne pas avoir d'arbres trop petits, ni trop importants, afin de ne pas avoir de variation de mesures dues à un écart trop important de diamètre, donc de poids de l'arbre, d'importance du Houppier...

FIGURE n° 4 : HISTOGRAMME DES CIRCONFÉRENCES



Sachant la relation existant entre le diamètre tangentiel des carottes mesuré à l'état frais et le niveau des déformations longitudinales résiduelles en périphérie de l'arbre, comme chez le Hêtre, le Peuplier et l'Eucalyptus on a établi un diagramme sur lequel figure en abscisse la circonférence et en ordonnée le diamètre tangentiel des carottes (mesuré à l'état frais) [fig. 5].

On a choisi ensuite 10 arbres d'un diamètre compris entre 20 cm et 30 cm se répartissant ainsi : 5 ayant un diamètre tangentiel "faible" donc supposés plus contraints que les 5 autres choisis parmi ceux ayant un diamètre tangentiel élevé .

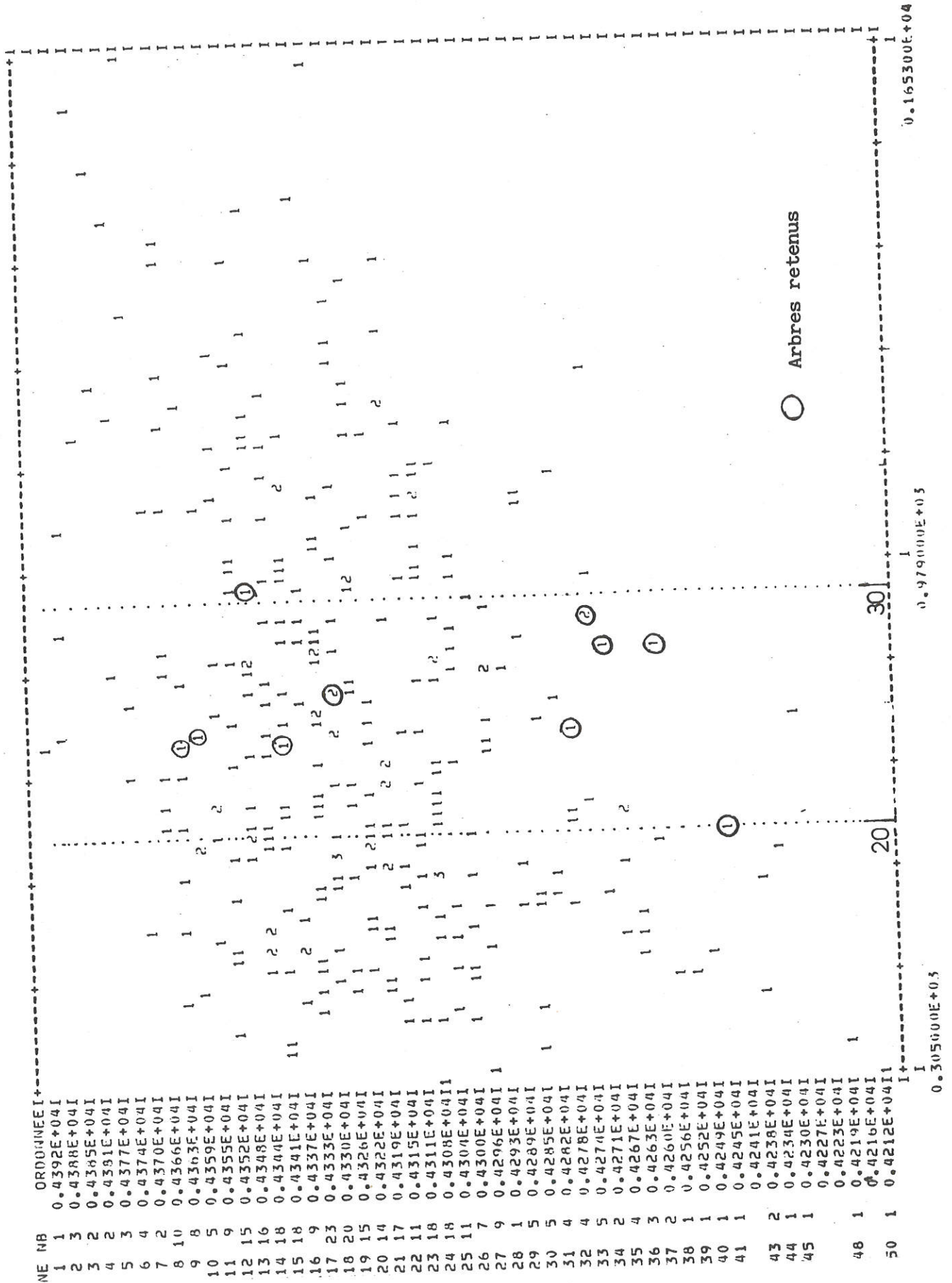
3.2. Problèmes rencontrés pour le choix des arbres

Le choix des 5 arbres supposés les plus contraints s'est fait sans difficulté. Par contre celui des 5 ayant un fort diamètre tangentiel et donc supposés peu contraints a été moins facile. Les arbres retenus étaient contrôlés sur le terrain, aussi parfois, certains étaient abattus ou tombés. D'autres avaient trop de gourmands ou de branches sur la bille de pied ce qui auraient gêné la réalisation des mesures envisagées.

On a donc été amené à choisir des points plus centrés dans le nuage (fig. 5) donc à réduire l'écart entre les diamètres tangentiels des arbres supposés "plus contraints" et les "moins contraints".

FIGURE n° 5

DIAGRAMME DIAMETRE TANGENTIEL - CIRCONFERENCE A 1,30 m
POSITION DES ARBRES RETENUS



Enfin pour les arbres retenus il a été réalisé, à l'aide d'un microtome des coupes anatomiques d'une épaisseur de 15 à 18 μm . Ces coupes subissaient une double coloration : bleu astra-safranine, afin de vérifier la présence de bois de tension (couleur bleue), la couleur des parois cellulaires de bois "normal" étant rouge. [Aussi il faut être prudent avec cette méthode car les mécanismes de fixation des colorants bleu astra et safranine sur les composés cellulotiques et lignifiés sont encore mal élucidés [communication personnelle, MONTIES, 1986].

ORIGINE GEOGRAPHIQUE DES ARBRES RETENUS :

Arbre N°	Forêt
1	Communale de Custines (54)
2	Communale de Bulligny (54)
3	Communale de St Mihiel (55)
4	Communale de Heudicourt (55)
5	Communale de Vandelainville (54)
6-7	Domaniale de Commercy (55)
8-9	Communale de Récicourt (55)
10	Communale de Bethelainville (55)

4. MATERIEL ET METHODES

4.1. Choix et description d'un capteur

La plupart des chercheurs ayant travaillé sur les contraintes de croissance, ont mis au point une méthode de mesures de déformation. En effet on ne peut mesurer les contraintes elles-mêmes mais des déformations à partir desquelles on estimera les contraintes qui en sont responsables. Pour calculer les contraintes il est nécessaire de connaître les valeurs des constantes mécaniques du bois sur lequel on fait les mesures. Ces méthodes de mesures des déformations ont bien sûr évolué en fonction du perfectionnement technologique et également en fonction de l'avancement des recherches sur le sujet ; les mesures se font à l'aide d'extensomètre mécaniques, de jauges d'extensométrie ou de capteurs mécaniques sur lesquelles sont collées des jauges.

Certaines méthodes sont destructives comme celle de M.R. JACOBS, J.D. BOYD, A. CHARDIN, d'autres ne le sont pas mais causent des dommages plus ou moins importants aux arbres, méthodes de J.E. NICHOLSON ; P. GUENEAU - J. SAURAT ; A. CHARDIN ; J.C. FERRAND.

Pour réaliser les mesures de déformation, nous disposons d'un certain nombre de capteurs. M. SALES du CTFT avait mis à notre disposition un capteur, mis au point par A. CHARDIN du CTFT (1980).

C'est un capteur basé sur la méthode "du trou" à savoir que le perçage d'un trou modifie le champ de contrainte dans la zone du point d'étude et l'on mesure les déformations résiduelles en surface qui suivent cette modification. La mesure se fait sur quatre points situés au sommet d'un losange centré sur l'axe du trou à l'aide de montres comparateurs (précision du micromètre). Ce capteur a l'avantage d'être mécanique, donc ne nécessite pas d'appareillage électrique ; de plus il est facilement manipulable (petites dimensions, poids

faible). Il semble que ce capteur soit mieux adapté pour la réalisation de mesures sur des arbres d'un certain diamètre (> 40 cm) car nous l'avons essayé sur un billon de diamètre 25 cm et il fallait réaliser un plat trop important pour installer le capteur correctement (le rayon de courbure étant trop faible).

C'est pour cette raison qu'il n'a pas été retenu pour l'étude malgré sa facilité d'emploi.

Le capteur retenu est celui mis au point par P. GUENEAU et J. SAURAT en 1974 [fig. 6].

Ce capteur sur lequel sont fixées des jauges d'extensométrie se colle, sur une surface écorcée à la colle alphacyanocrylate (colle à prise rapide).

Ensuite deux trous de diamètre 30 mm et de profondeur comprise entre 30 et 40 mm sont percés de part et d'autre du capteur libérant ainsi partiellement les tensions existantes dans cette zone ; on mesure alors une déformation longitudinale résiduelle.

Ce capteur permet également une mesure de déformation radiale donc une estimation du gradient des tensions longitudinales en réalisant deux rainures reliant les deux trous réalisés précédemment [fig. 7].

Contrairement au capteur du C.T.F.T., celui-ci nécessite l'emploi d'un pont d'extensométrie, et rend donc la manipulation moins aisée.

Dans un cas comme dans l'autre la manipulation ne peut se faire que lorsque les conditions météorologiques sont favorables : absence totale de vent...

4.1.1 Etalonnage du capteur

L'étalonnage du capteur a été réalisé sur une latte en peuplier de dimension après rabotage 1,10 m x 50 mm x 15 mm respectivement dans les sens L, T, R, latte de droit fil et d'humidité stabilisée à H % environ 16 %.

La poutre a été déformée en flexion circulaire [fig. 8].

Le capteur est collé avec précaution à la colle alphacyanocrylate dans la partie médiane de la poutre. Deux jauges ont été collées à proximité, ces deux dernières étant reliées à deux autres collées sur un échantillon afin de faire un montage en "pont complet".

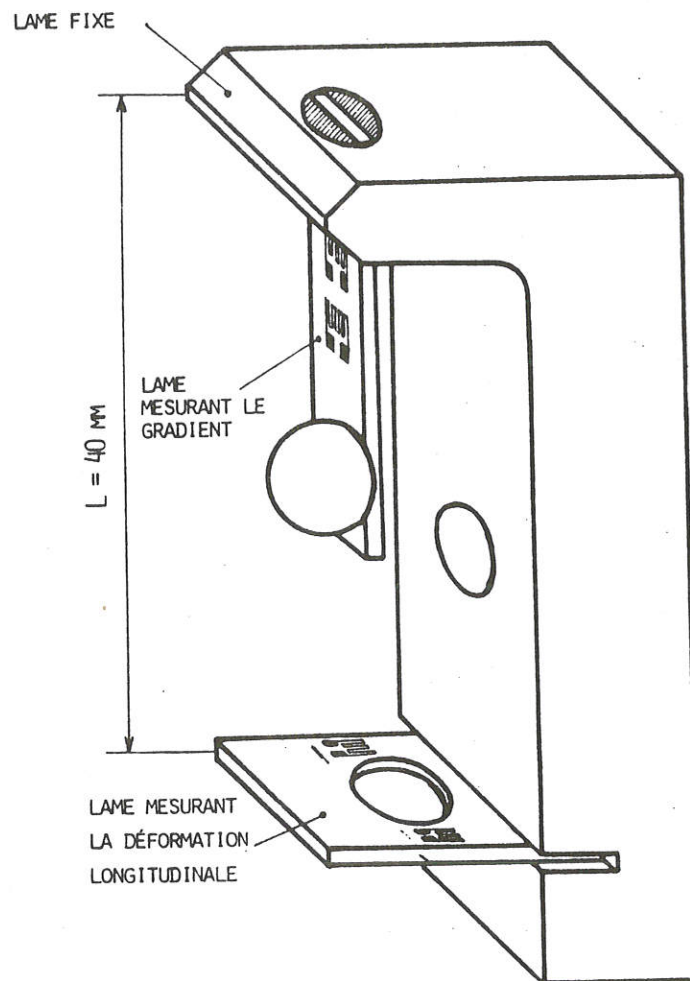


FIGURE n° 6 :
SCHEMA DU CAPTEUR
(d'après GUENEAU et SAURAT)

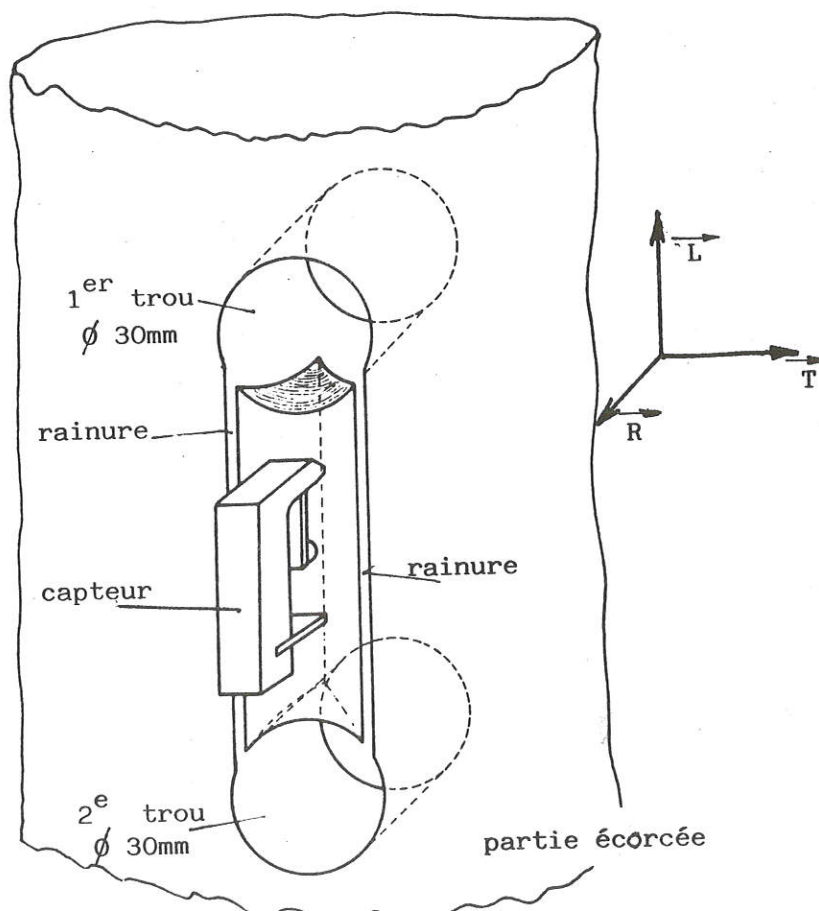
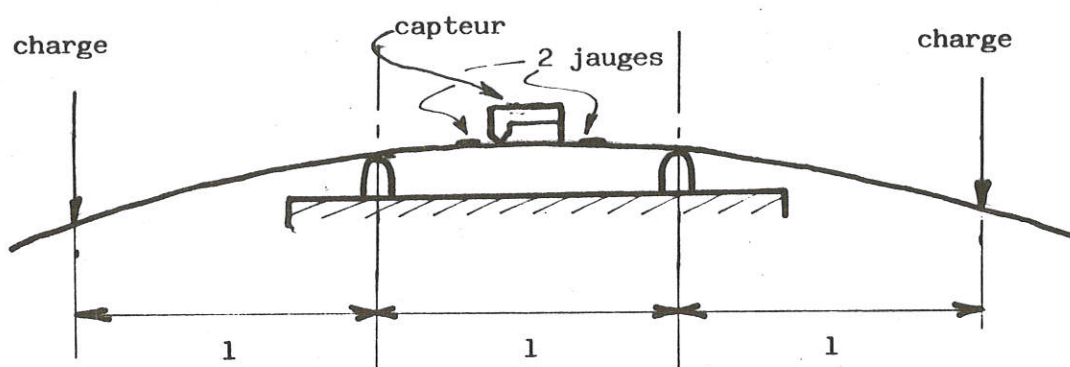


FIGURE n° 7 :
OPERATION D'USINAGE

FIGURE n° 8

ETALONNAGE DU CAPTEUR SUR UNE POUTRE DEFORMEE EN FLEXION CIRCULAIRE



La charge a été réalisée avec du sable, celui-ci était pesé préalablement et versé simultanément dans deux seaux situés aux extrémités de la poutre. L'étalonnage a été réalisé uniquement en traction.

ETALONNAGE DU CAPTEUR "GUENEAU et SAURAT"

Masse (kg)	Microdéformation mesurée avec capteur	Microdéformation mesurée avec 2 jauges
1,5	0	0
2,5	108	233
4,5	204	442
6,5	298	656
8,5	382	882
10,5	485	1110
12,5	582	1328
14,5	680	1478
16,5	778	1684
18,5	870	1864
20,5	974	2100
22,5	1082	2390
24,5	1188	2606
26,5	1288	2830
28,5	1390	3078
30,5	1496	3276
32,5	1596	3480
34,5	1691	3724
36,5	1800	3915

La première masse correspond à celle des seaux + fil + un peu de sable, le zéro étant fait avec cette "précharge".

Sur graphique [fig. 9], on observe le bon comportement linéaire du capteur dans l'intervalle de déformation où il a été testé [0 - 1800 microdéformations]. L'étalonnage a été réalisé deux fois. Le rapport entre microdéformation "capteur" et microdéformation "jauge" était de : 1,087 dans le premier étalonnage et de 1,091 dans le deuxième soit un rapport moyen de 1,089.

Dans la suite de l'étude les résultats n'ont pas été corrigés par ce coefficient et donc pour obtenir les valeurs exactes (relatives au capteur GUENEAU et SAURAT), il suffit de multiplier celle figurant dans le texte par 1,089.

4.2. Mesures sur le terrain

4.2.1. Relevé de houppier

A l'aide d'une équerre optique et d'un double décimètre nous avons relevé les projections au sol du houppier dans huit directions, la première étant dirigée vers le Nord, les autres faisant un angle de 45° entre elles.

Les dessins de ces houppiers figurent en Annexe 2. On peut y voir leur dissymétrie, mais également la position de l'arbre vis-à-vis de son entourage (dominant, dominé, codominant).

A l'aide des rayons on peut calculer la surface "projetée" du houppier
$$[SURFHOU] = \frac{\pi}{8} \times \sum_{i=1}^8 (R_i)^2$$
 ; de même que la position du

centre de gravité de la surface "projetée" afin d'indiquer l'excentricité du houppier : $[EXCHOUP] = \text{distance entre pied de l'arbre et position du centre de gravité}$.

4.2.2. Mesure de déformations longitudinales - Prélèvement de carottes

Il a été décidé pour des raisons pratiques de réaliser les mesures sur la bille de pied uniquement, c'est-à-dire jusqu'à une

FIGURE n° 9 :

COURBE D'ETALONNAGE DU CAPTEUR GUENEAU-SAURAT

poutre en peuplier : 1000 x 50 x 15 mm

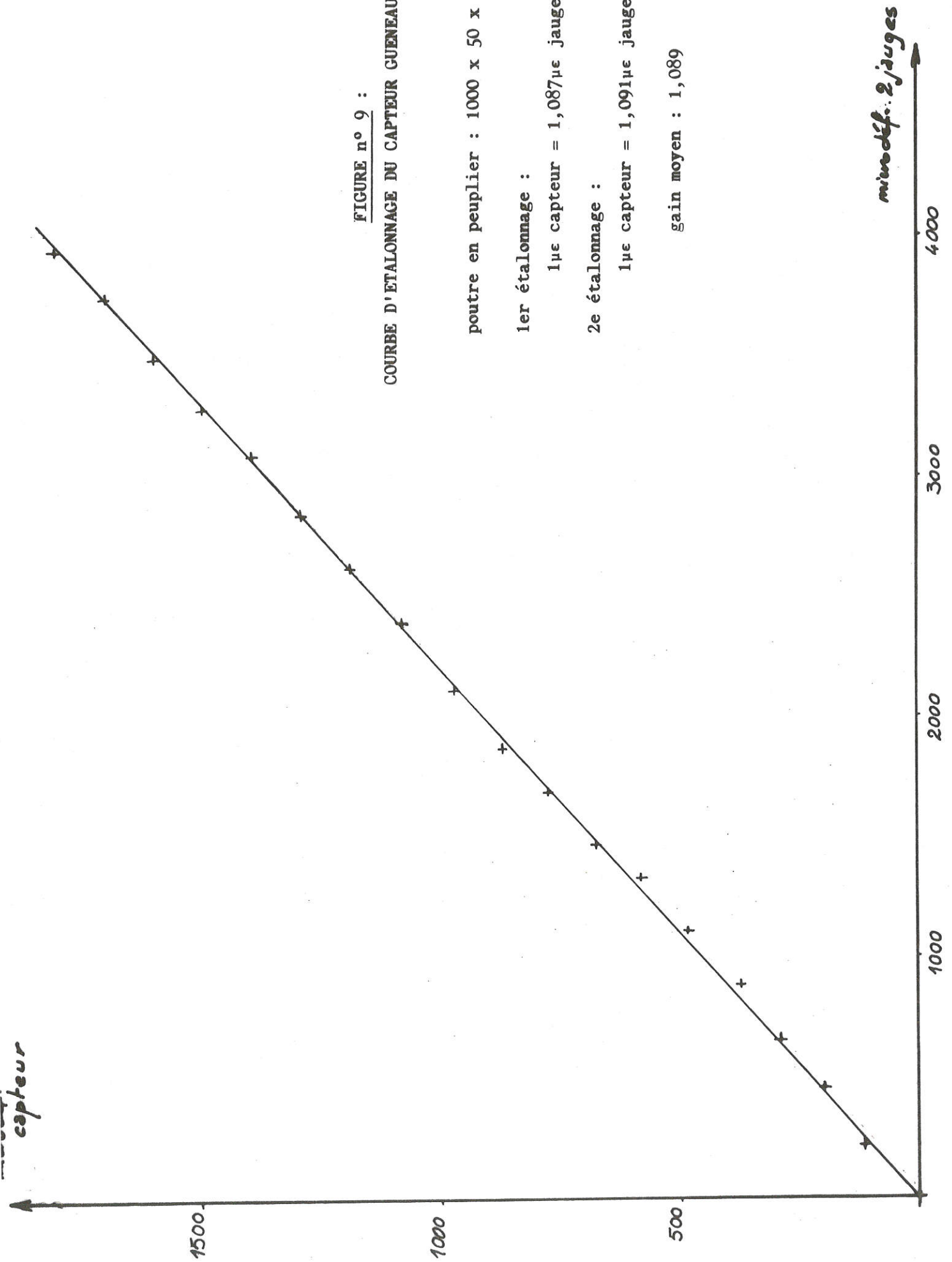
1er étalonnage :

1^{re} capteur = 1,087 μ e jauge

2e étalonnage :

1^{re} capteur = 1,091 μ e jauge

gain moyen : 1,089



hauteur de 3 m environ. Sur chaque bille il a été procédé à 24 mesures de déformations longitudinales résiduelles et 24 prélèvements de carottes à proximité.

Les mesures se répartissaient de la façon suivante :

- 4 génératrices également réparties autour de l'arbre, une génératrice étant située sur la face supposée la plus "tendue".

- 4 points de mesure (un par génératrice) placés sur une même circonférence, 6 circonférences équidistantes de 50 cm la première étant située à environ 50-60 cm du sol [fig. 10].

4.2.3. Opérations réalisées pour un point de mesure

Les opérations sont décrites dans l'ordre chronologique d'exécution :

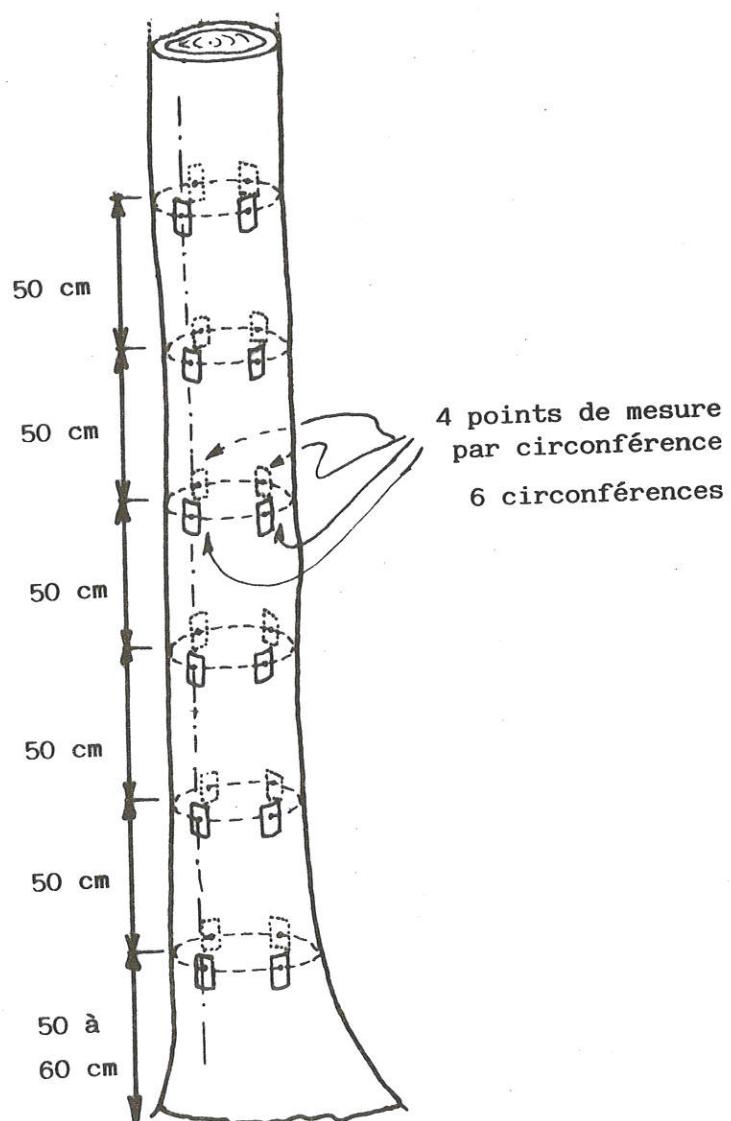
- écorçage soigneux de l'endroit de mesure, jusqu'au cambium en faisant attention de ne pas couper les fibres ;
- traçage des trous et de l'endroit où le capteur allait être collé, à l'aide d'un gabarit (répétabilité du positionnement) ;
- collage avec précautions du capteur à la colle alphacyanocrylate ; l'axe du capteur parallèle au sens des fibres) ;
- carottage à côté du capteur (3 à 4 cm) jusqu'à coeur (numérotation - stockage dans l'eau) ;
- mise à zéro du pont d'extensométrie ;
- perçage du premier trou (\varnothing 30 mm) profondeur 30 à 40 mm ;
- relevé d'une première mesure de déformation ;
- perçage du deuxième trou ;
- relevé de la déformation longitudinale (microdéformation) ;
- décollage et nettoyage du capteur.

Remarques

1. Les 24 points de mesure ont été faits dans un ordre aléatoire différent pour chaque arbre. L'ordre de sondage de chaque arbre figure en annexe 3.

2. Deux tarières de Pressler, de diamètre 5 mm ont été nécessaires pour l'ensemble du prélèvement suite à une détérioration accidentelle de la première, intervenue après la réalisation des mesures

FIGURE n° 10
PLAN DE SITUATION DES POINTS DE MESURE



sur un arbre et demi (24 mesures pour le premier, 11 pour le second). Cependant la comparaison des 11 diamètres tangentiels des carottes obtenues avec la tarière n° 1 d'une part et des 13 diamètres tangentiels des carottes obtenues avec la tarière n° 2 d'autre part, a montré que l'on pouvait considérer l'ensemble des mesures comme provenant d'une seule tarière.

3. Profondeur des trous : GUENEAU et SAURAT indiquaient de percer jusqu'à une profondeur de 30 à 40 mm.

Sur un arbre d'essai, on a contrôlé l'évolution de la déformation longitudinale enregistrée en fonction de la profondeur de perçage. [fig. 11].

On s'aperçoit qu'au-delà d'une certaine profondeur (> 25 mm), le niveau des déformations enregistrées se stabilise. Le relevé s'est fait au fur et à mesure du perçage. Des mesures en fonction du temps n'ont pas été faites, mais il est probable que les valeurs enregistrées seraient différentes (phénomène de fluage...).

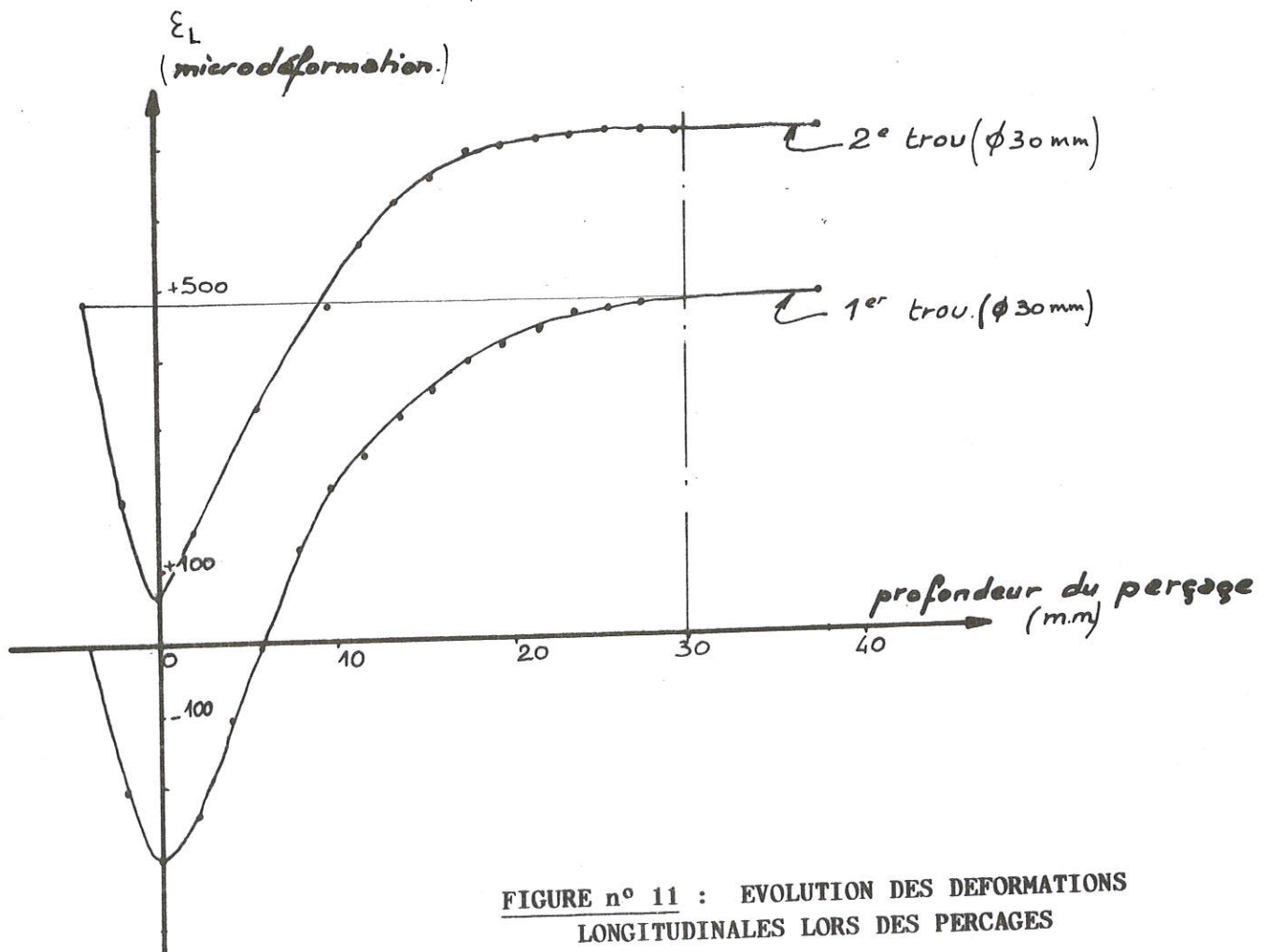


FIGURE n° 11 : EVOLUTION DES DEFORMATIONS LONGITUDINALES LORS DES PERÇAGES

Pour l'étude, les relevés ont donc été faits quelques secondes après le perçage du deuxième trou profond de 30 à 35 mm.

Numérotation : chaque point de mesure, de même que chaque carotte de sondage étaient numérotés de la façon suivante : n° d'arbre (1 à 10) ; n° hauteur (1 à 6) ; n° orientation (1 à 4).

4.2.4. Abattage - Découpe de l'arbre

L'abattage des arbres s'est déroulé dès que toutes les mesures sur les arbres furent achevées.

A l'abattage, il apparaissait sur la face tronçonnée de certains arbres des fentes radiales. On les repérait par un trait de crayon afin de pouvoir en mesurer leur longueur. Les grumes ont été tronçonnées suivant le schéma figure 12.

Lors du tronçonnage de la bille de pied en billons, on a également relevé la position des fentes lorsque le cas se présentait.

La longueur de ces fentes a été relevée sur la face inférieure des billons 1A et 1B [fig. 12], ensuite cette longueur a été rapportée à la circonférence à 1,30 de l'arbre en question.

Numérotation : les billons ont été numérotés de la façon suivante : un premier nombre est celui de l'arbre (1 à 10). Le deuxième est celui du billon sachant que le premier est situé à la base de l'arbre, le deuxième au-dessus et ainsi de suite.

De plus le billon 1 a été découpé en deux (fig. 12) ; le billon du bas fut numéroté 1A et l'autre 1B.

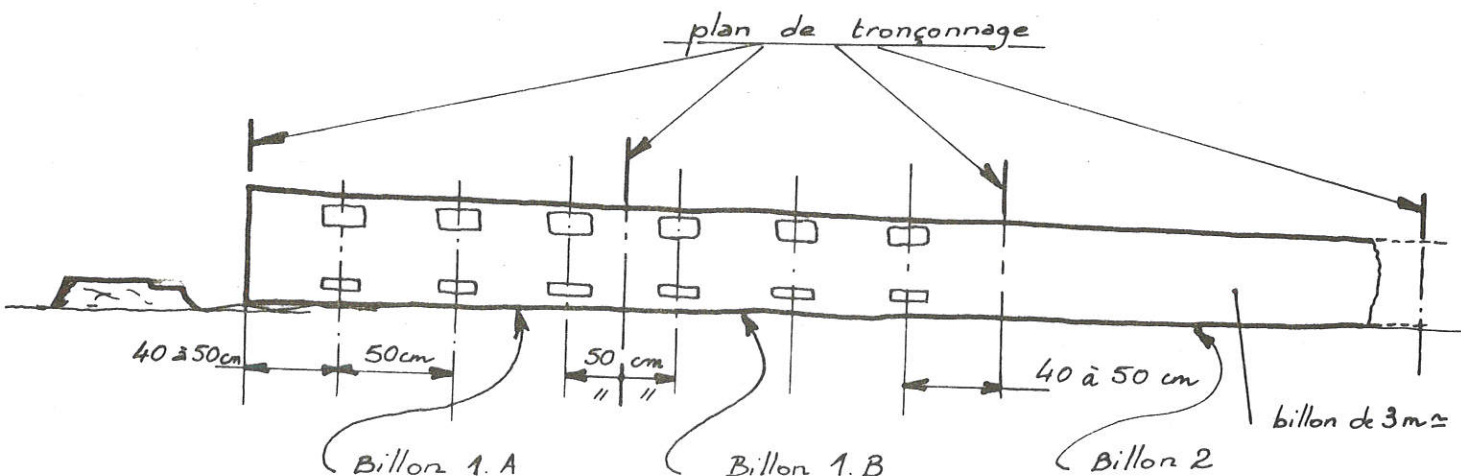


FIGURE n° 12 : TRONÇONNAGE DE L'ARBRE

FIGURE n° 13 : POSITIONNEMENT DES POINTS DE MESURE A L'EXTENSOMETRE

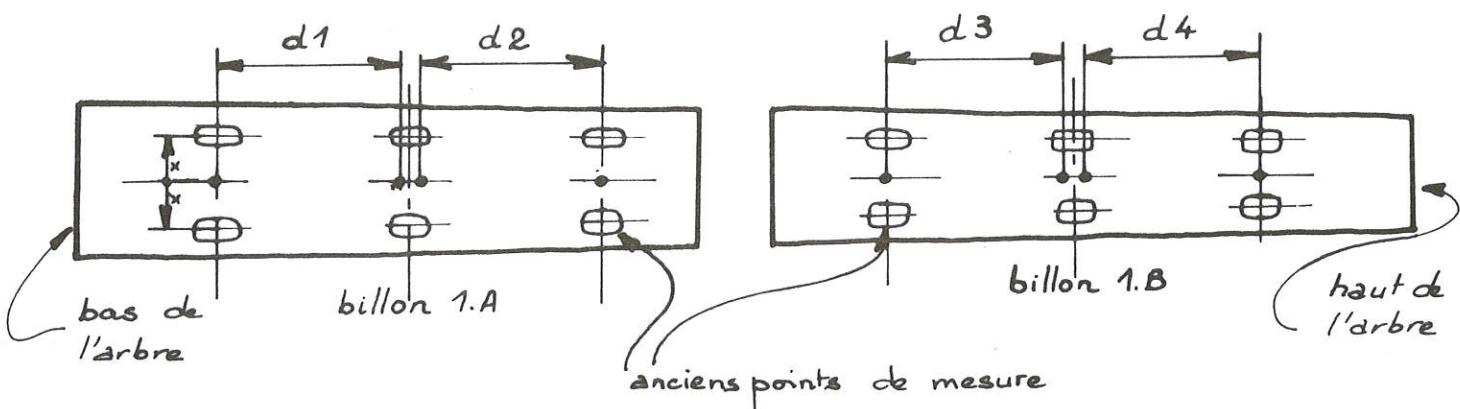
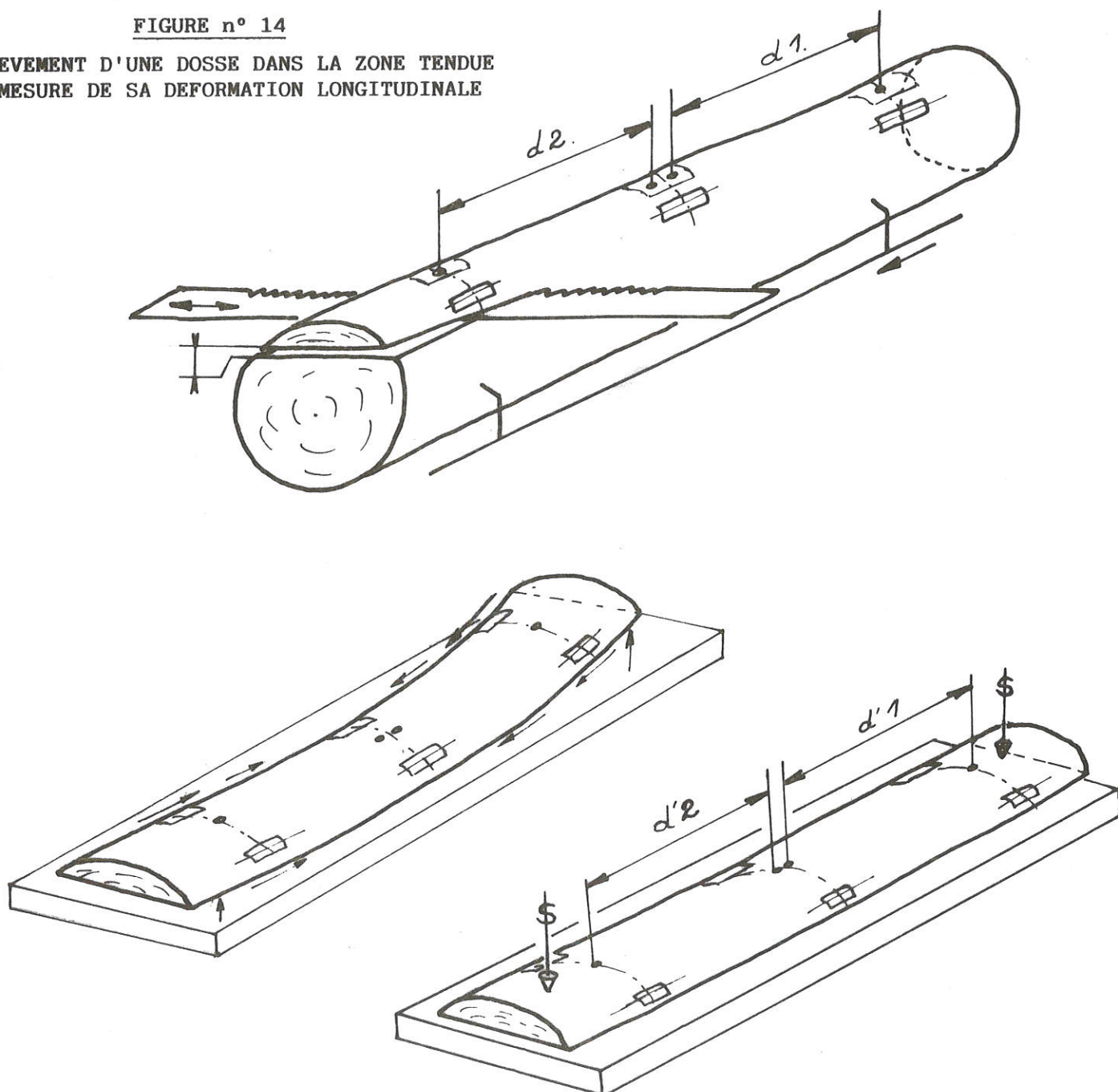


FIGURE n° 14

PRELEVEMENT D'UNE DOSSE DANS LA ZONE TENDUE
ET MESURE DE SA DEFORMATION LONGITUDINALE



4.2.5. Débit

Les mesures sur débit ont été réalisées uniquement sur la bille de pied c'est-à-dire les billons 1A et 1B. Pour cela on a utilisé une scie horizontale où la lame est animée d'un mouvement alternatif transmis par un système bielle-manivelle, et où le chariot sur lequel est fixée la grume a un mouvement d'avance.

4.2.5.1. Prélèvement d'une dosse dans la zone périphérique tendue

Sur chaque billon une dosse a été sciée dans la zone la plus tendue. Le choix de la zone tendue se faisait à partir des valeurs de déformations longitudinales obtenues avec le capteur "Gueneau et Saurat". Cette dosse a fait l'objet des mesures suivantes :

1. Mesure de déformations longitudinales à l'aide d'un extensomètre micromécanique aux endroits indiqués sur la figure 13. En fait, une mesure avant débit, une fois sciée, la dosse subit deux déformations (une modification de longueur et une flexion). Pour s'affranchir de la flexion on appliquait la dosse sciée sur un rail à l'aide de serre-joint, pour nous permettre de faire une nouvelle mesure de longueur [fig. 14].

Notation :

EXTEND (i) $i \in \{ 1 \text{ à } 4 \}$ déformation longitudinale mesurée à l'extensomètre aux endroits considérés [fig. 13 - 14].

2. Mesure de l'ouverture du trait de scie lors de la progression de la lame dans la grume.

On relevait l'ouverture à l'aide d'un réglet (précision du mm) lorsque le trait de scie avait une longueur de 50 cm.

50 cm peut sembler peu mais pour limiter l'influence du poids de la dosse sur le soulèvement de cette dernière au fur et à mesure de la progression du trait de scie cela nous a semblé convenable.

4.2.5.2. Débit complet du billon et observation de la présence ou non de la veine verte

Après le sciage et les mesures réalisées sur une première dosse, les billons ont été débités de la façon représentée en figure 15.

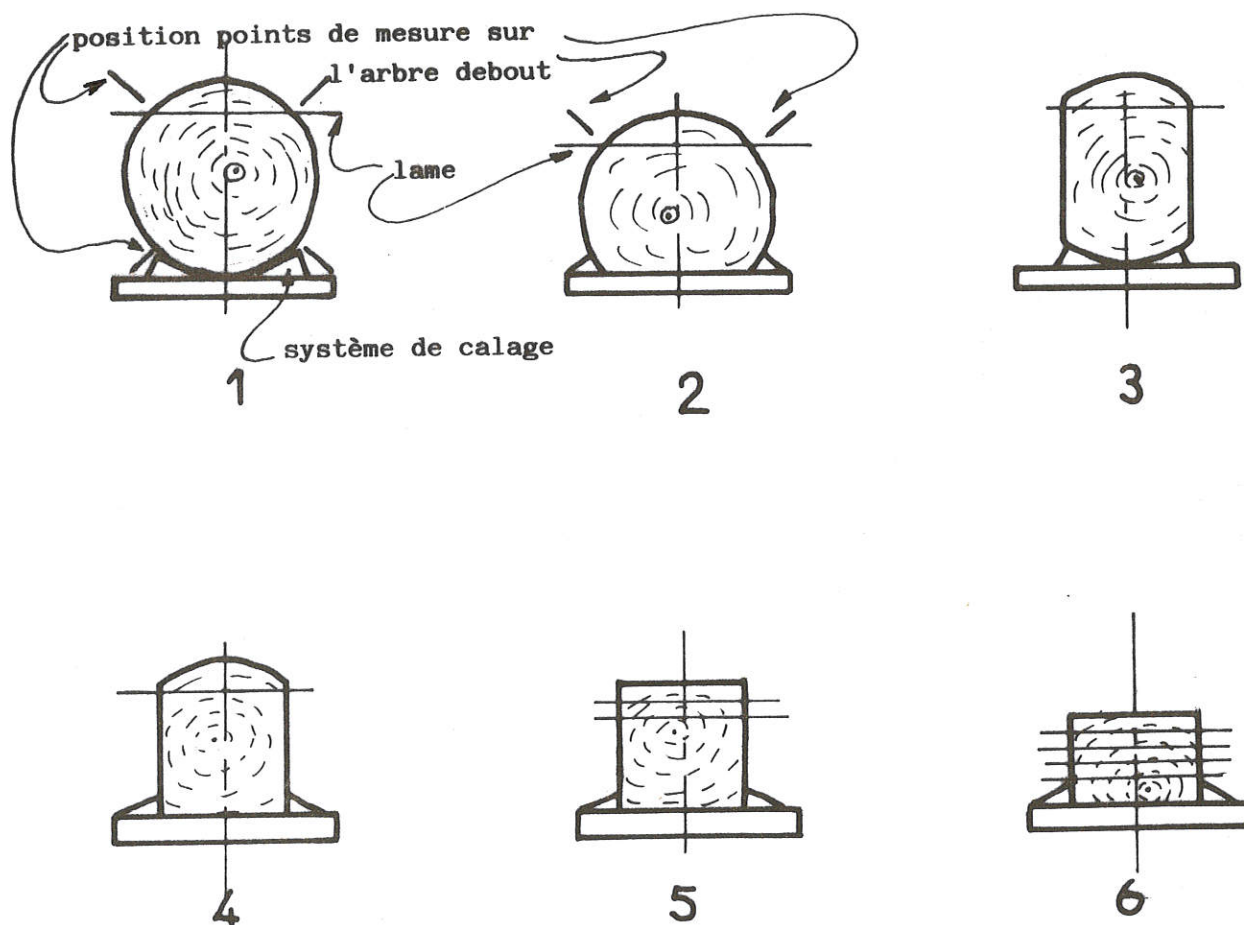


FIGURE n° 15 : DEBITS SUCCESSIFS SUR BILLON

Au fur et à mesure du débit, on observait les planches pour vérifier la présence ou non de la veine verte au niveau des points de mesure effectués sur l'arbre sur pied ; une "note" était attribuée de la manière suivante :

- 0 - dans le cas d'absence totale de veine verte
- 1 - dans le cas d'une légère présence, peu marquée
- 2 - dans le cas d'une présence nettement marquée.

4.2.6. Mesures réalisées sur les carottes de sondage

4.2.6.1. Diamètres tangentiels et axiaux des carottes saturées d'eau

Après extraction, les carottes étaient conservées trois jours dans l'eau au réfrigérateur ($\theta \approx 6^\circ\text{C}$).

Les diamètres tangential et axial de ces carottes étaient mesurés à l'aide du capteur cité au paragraphe 3.1. Les mesures s'effectuaient sur 12 zones successives de 2 mm chacune ; le point de départ se situant à 2mm environ de l'extrémité de la carotte côté écorce. Pour chaque zone un diamètre tangential et axial moyen (moyenne sur 20 mesures) nous est donné au micron.

Ils ont été notés :

- . DTANG(i) $i \in \{1 \text{ à } 12\}$ diamètre tangential pour la zone i
- . DAXI(i) $i \in \{1 \text{ à } 12\}$ diamètre axial " " "

Il a également été calculé des valeurs moyennes de ces diamètres

$$\text{. DTAMO } 12 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \text{DTANG}(i) : \text{diamètre tangential moyen sur les 12 zones}$$

$$\text{. DTAMO } 10 = \frac{1}{10} \sum_{i=3}^{12} \text{DTANG}(i) : \text{diamètre tangential moyen sur les zones 3 à 12}$$

$$\text{. DAXMO } 12 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \text{DAXI}(i) : \text{diamètre axial moyen sur les zones 1 à 12}$$

$$\text{. DAXMO } 10 = \frac{1}{10} \sum_{i=3}^{12} \text{DAXI}(i) : \text{diamètre axial moyen sur les zones 3 à 12.}$$

L'ensemble des zones 3 à 12 correspond à la zone optimale donnée par J.C. Ferrand en 1981.

Ces mesures de diamètres sur différentes zones ont été réalisées pour essayer éventuellement d'améliorer la méthode mise au point

par Ferrand et sachant qu'Okuyama en 1983 avait trouvé de bons résultats dans la liaison diamètre tangentiel-déformations longitudinales non pas en considérant la moyenne des diamètres sur une longueur de 20 mm mais en prenant la valeur du diamètre la plus proche du cambium.

Mais par manque de temps nous n'avons pas fait l'exploitation complète de ces données qui ont été conservées. Aussi dans ce qui va suivre lorsqu'on parlera de diamètre tangentiel il ne s'agira que du diamètre moyen sur les zones 3 à 12, mesures faites sur 24 mm à partir de 4 mm de l'écorce et noté DTAMO 10 (DTANG).

4.2.6.2. Retrait tangentiel et axial

Après les mesures à l'état "saturé" les carottes étaient mises en étuve conditionnée pour amener le bois à une humidité contrôlée de 10 %. On procédait alors à une nouvelle mesure des diamètres tangentiel et axial sur une zone de 25 mm qui commençait à 2 mm du côté écorce.

On obtenait des valeurs moyennes pour chaque diamètre (moyenne sur 125 mesures). Connaissant les diamètres à des taux d'humidités différentes on pouvait alors calculer les retraits tangentiel et radial.

DTANG SEC : diamètre tangentiel des carottes à l'état "sec"

DAXI SEC : diamètre axial des carottes à l'état "sec"

$$\text{RETTANG} = \left(\frac{\text{DTAMO 12} - \text{DTANG SEC}}{\text{DTANG SEC}} \right) \times 100 : \text{retrait tangentiel}$$

$$\text{RET AXI} = \left(\frac{\text{DAXMO 12} - \text{DAXI SEC}}{\text{DAXI SEC}} \right) \times 100 : \text{retrait axial}$$

4.2.6.3. Infradensité

Celle-ci a été déterminée pour chaque carotte en utilisant la méthode de Keylwerth (1954) qui donne l'infradensité à partir de la mesure de deux masses :

$$\text{INFRAD} = \frac{1}{\frac{\text{Masse saturée}}{\text{Masse anhydre}} - 0,347} \quad (\text{kg/m}^3 \text{ ou g/dm}^3)$$

L'état saturé des carottes est obtenu par immersion de ces dernières dans l'eau durant 4 jours. Des phases de vides alternées avec quelques phases de pressions atmosphériques permettent d'obtenir un état "saturé" des carottes satisfaisant. L'état anhydre des carottes est obtenu après un séjour de 24 heures en étuve à une température de 102°C.

4.2.6.4. Largeur moyenne de cerne

Elle est obtenue en rapportant le nombre de cernes d'une carotte à sa longueur (coeur ↔ écorce) ; on l'a notée LARMORCE ; elle est exprimée en millimètres.

4.2.6.5. Importance de l'aubier

La longueur de l'aubier facilement différentiable sur des carottes fraîchement prélevées est rapportée à la longueur totale de la carotte (coeur ↔ écorce).

Elle est notée IMPAUB, et exprimée en pourcentage.

Remarques : les mesures sur le terrain se sont déroulées sur une période de 30 jours (du 2 mai au 20 juin 1986) ; on a affecté à toutes les mesures un caractère "Date" (en jours) caractère prenant les valeurs 1 à 30, afin de voir s'il y avait un effet date sur celles-ci.

5. RESULTATS

5.1. Variabilité des caractères étudiés

Ce chapitre va apporter d'une part des informations intéressantes sur la variabilité chez le merisier dans l'arbre, et d'autre part il présente la variabilité de l'échantillonnage étudié.

5.1.1. Caractéristiques dendrométriques

Celles-ci figurent dans le tableau 1, pour chaque arbre ; il est également indiqué la moyenne et l'écart type.

On remarque que dans l'intervalle de diamètre que l'on s'est fixé [20 - 30 cm], l'âge des arbres varie de façon importante [41 à 74 ans], de même que la surface du houppier [12,7 - 50,6 m²]. La variabilité de l'inclinaison est due au choix préalable des arbres parmi l'ensemble des 333 individus de départ, arbres n° 1 à 5 [09 - 20 cm] arbre 6 à 10 [0 à 4 cm].

5.1.2. Effets "arbre" "hauteur" et "orientation" sur les différentes variables étudiées

Une analyse de variance multivariées a été réalisée pour l'ensemble des mesures en testant les effets "arbre", "hauteur", et "orientation" ainsi que les interactions 2 à 2. Dans le tableau 2 figurent les différents résultats.

On remarque au niveau des facteurs :

- un effet "arbre" très important (significatif au risque de 1°/∞ sur toutes les variables étudiées ;

- un effet "hauteur" très important sur l'infradensité et le retrait tangentiel, de moindre importance sur la quantité de veine verte et sensible sur le diamètre axial moyen ;

- un effet "orientation" très net sur ϵ_L , DTAMO 10 et la quantité de veine verte et de moindre importance sur les autres caractères.

Il faut ajouter les interactions ; une interaction "hauteur-arbre" importante sur la quantité de veine verte, DAXMO 10 et l'infradensité.

Caractères	N° Arbre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MOY	E.T
Age (année)		66	54	74	50	41	59	72	59	59	45	58	11
Hauteur totale (m)		24,8	20,2	17,5	23,3	18,7	25,5	23,85	21,6	21,4	18,3	21,5	2,8
Hauteur de la base (m) du houppier		11,4	11,8	8,4	10,0	10,8	14,4	12,3	13,0	8,7	10,3	11,1	1,8
Circonférence 1,30 (cm)		92	78	91	99	67	77	86	82	102	80	85	11
Coefficient de croissance ^{dé} (sans unité)		0,71	0,71	0,74	0,71	0,75	0,74	0,70	0,72	0,75	0,78	0,73	0,09
Surface houppier (m ²)		19,8	32	50,6	37,2	12,7	18,7	22,5	14,6	28,3	15,3	25,0	11,9
Excentricité houppier (m ²)		0,04	0,73	0,78	0,69	0,38	0,68	0,19	0,30	0,80	0,32	0,42	0,28
Inclinaison (cm)		10	20	09	10	13	0	3	4	0	0	6,9	6
Largeur moyenne de cerne (mm)		1,9	2,1	1,7	2,8	2,4	1,8	1,6	1,9	2,4	2,5	2,1	0,2

Tableau 1 : Caractéristiques dendrométriques des arbres étudiés

F								
Sources de variation	ddl	ϵ_L (microdéformation)	DTAMO 10 (μm)	Veine verte (sans unité)	DAXMO 10 (μm)	INFRAD (Kg/m ³)	RET AXI (%)	RETTANG (%)
<u>Facteur :</u>								
arbre	9	18,19***	6,89***	14,10***	139,98***	52,26***	3,51***	16,97***
hauteur	5	1,50 NS	1,85 NS	3,44**	2,94*	27,07***	0,52 NS	9,13***
orientation	3	27,74***	23,52***	11,10***	3,11*	4,77**	3,67*	5,16**
<u>Interaction :</u>								
hauteur-arbre	45	0,86 NS	0,94 NS	1,91**	1,87**	2,06***	0,92 NS	1,20 NS
orientation-arbre	27	7,35**	5,71**	4,69**	1,37NS	2,46***	1,73*	0,99 NS
orientation-hauteur	15	1,92*	1,99*	0,63 NS	1,06 NS	1,37 NS	1,17 NS	0,79 NS
erreur	139							
TOTAL	239							

NS : non significatif

* significatif au risque de 5 %
 ** significatif au risque de 1 %
 *** significatif au risque de 1 %/°°

Tableau 2 : Résultat de l'analyse de variances des effets "arbre-hauteur-orientation"
 sur les différents caractères mesurés

Une interaction importante "orientation arbre" sur ϵ_L , DTAMO 10 la quantité de veine verte et l'infradensité plus sensible sur le retrait axial.

Une interaction "orientation-hauteur" sur ϵ_L et DTAMO 10, ceci étant le fait que le côté tendu peut changer avec la hauteur.

Il faut ajouter que déformations longitudinales et diamètre tangentiel des carottes réagissent de la même façon aux différents effets et interactions.

La veine verte et les autres variables sont sensibles de façons différentes aux trois interactions.

Nous allons reprendre plus en détails chacune de ces variables pour les cas où les effets et interactions étudiés sont significatifs.

5.1.3. Variabilité des déformations longitudinales résiduelles (ϵ_L) mesurée à l'aide du capteur "Guéneau-Saurat".

5.1.3.1. Sur l'ensemble des 240 observations (10 arbres x 4 orientations x 6 hauteurs)

L'intervalle des déformations longitudinales résiduelles (ϵ_L) s'étale de 60 à 2830 microdéformations avec une moyenne située à 615 microdéformations et un écart type important.

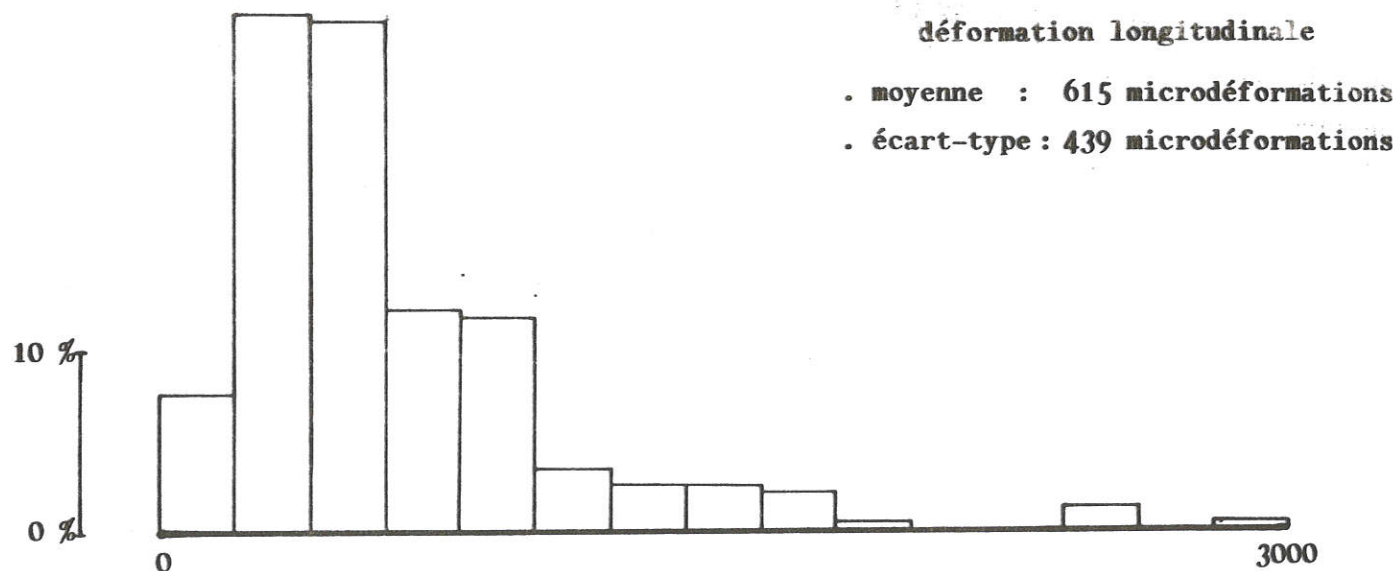


Fig. 16 : Histogramme de ϵ_L

(le niveau maximum obtenu (2830 μ) est relativement faible comparativement à celui atteint chez un hêtre (4000 μ) par Guéneau et Saurat (1974) et chez un wapa (10.000 μ) par Mariaux (1981).

5.1.3.2. Variabilité dans l'arbre

Le tableau 3 présente les valeurs de ϵ_L moyen pour chaque arbre. Il est également indiqué les valeurs minimum et maximum.

N° Arbre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ϵ_L moyen (24 mesures)	878	560	818	1059	303	515	593	462	461	497
ϵ_L maximum	1770	1880	1630	2830	700	1035	955	860	1045	1435
ϵ_L minimum	410	115	280	230	60	310	270	160	95	310
arbres supposés plus "contraints"						arbres supposés moins "contraints"				

Tableau 3 : Valeurs moyennes et extrêmes de ϵ_L par arbres
(unité : microdéformation)

Les valeurs du tableau 3 montrent la variabilité tant au niveau arbre grâce aux valeurs extrêmes mais également entre arbres à l'aide de la moyenne.

5.1.3.3. Variation autour de l'arbre et en hauteur

Le tableau 2 indique l'effet "orientation" très important et l'absence d'effet hauteur.

En ce qui concerne l'orientation cela semble normal par le fait que l'on ait choisi une orientation privilégiée, celle du côté tendu en se basant sur la forme de l'arbre. (les autres positions étant déduites de cette première).

Orientation	1 (tendue)	2 (neutre)	3 (opposé)	4 (neutre)
ϵ_L (moyen) (sur 60 individus)	841	488	452	676

Tableau 4 : ϵ_L moyen pour chaque orientation (microdéformation)

Pour l'ensemble des dix arbres, le tableau 4 indique ϵ_L moyen pour les différentes orientations et justifie l'effet "orientation".

Nous observons une valeur maximale pour la position tendue, une valeur minimum pour la position opposée et des valeurs intermédiaires pour les autres positions (le rapport de ϵ_L moyen entre la position tendue et la position opposée étant de l'ordre de 2).

Ces résultats confirment ce que d'autres chercheurs avaient trouvé à savoir une dissymétrie de la répartition de la déformation longitudinale sur une même circonférence. En regardant pour chaque arbre les valeurs de ϵ_L obtenue (les valeurs figurent en annexe 4) on observe toujours cette dissymétrie avec un maximum pour une orientation donnée. Celle-ci n'est pas toujours l'orientation 1 car la forme géométrique complexe de l'arbre influence la position la plus tendue.

Dans le tableau 5, figure pour chaque arbre et pour 6 hauteurs différentes le rapport entre ϵ_L maxi et ϵ_L de la position opposée à la position de ϵ_L maxi.

ARBRE HAUTEUR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H6 = 3,0 m	1,1	11,1	3,2	1,1	5,7	1,3	1,2	1,0	1,2	1,1
H5 = 2,5 m	1,2	6,7	2,3	3,7	4,5	1,8	1,7	1,2	1,2	1,2
H4 = 2,0 m	2,6	5,3	4,4	5,8	1,0	2,1	2,4	2,4	2,2	1,4
H3 = 1,5 m	3,8	13,6	3,4	6,4	2,9	1,5	1,4	1,1	4,2	1,6
H2 = 1,0 m	1,8	7,9	4,7	10,6	2,1	1,0	1,5	1,2	2,4	2,9
H1 = 0,5 m	2,9	10,1	7,8	7,5	7,4	2,4	2,2	1,1	2,6	4,1
Inclinaison (cm)	10	20	9	10	13	0	3	4	0	0
arbres supposés plus contraints					arbres supposés moins contraints					

Tableau 5 : Rapport entre ϵ_L maxi et ϵ_L de la position opposée

On y voit l'amplitude que peut avoir ce rapport, exemple de 1,1 à 10,6 (arbre n° 4) ; de 5,3 à 13,6 (arbre n° 2). Il apparaît également que ces rapports sont irréguliers pour les arbres les plus inclinés [arbres 1 à 5] ; par contre pour les arbres peu ou pas inclinés

(arbres 6 à 10) ce rapport est d'amplitude plus faible, il prend aussi des valeurs plus basses, par exemple 1,0 à 2,4 pour l'arbre 6.

L'inclinaison de l'arbre pourrait donc accentuer la dissymétrie dans la répartition autour du tronc de ε_L donc de la contrainte longitudinale.

Cette dissymétrie est indépendante de la hauteur de mesure le long du tronc (tableau 5), hauteur comprise entre 0 et 3 m dans notre cas. Cette même hauteur est sans effet apparent sur les contraintes longitudinales. Peu d'études ont été réalisées sur les variations de ε_L en fonction de la hauteur, néanmoins J. YAO (1979) d'une part et CHAFE (1981) ont trouvé une légère augmentation de ε_L jusqu'à 7-8 mètres.

Remarques

1. Liaison de ε_L avec la date de mesure.

Ceci a été réalisé car les mesures se sont faites en période de végétation (cf remarque fin chapitre 4) ; or OKUYAMA, SASAKI, KIKATA et KAWAI (1981) ont trouvé sur Cryptomeria japonica, une augmentation de ε_L dans le cerne en formation entre les mois de mai et d'août, cette période étant passée, ε_L resterait constant jusqu'à la nouvelle phase de végétation.

La corrélation trouvée dans notre cas entre les deux variables n'est pas significative.

2. Relation entre les valeurs de ε_L enregistrées après perçage du premier trou d'une part et le deuxième d'autre part.

Pour les 240 mesures réalisées, nous obtenons une corrélation de $r = 0,987^{***}$ (significative au risque de 1‰) entre les deux relevés. Le rapport entre les deux valeurs a pour valeur moyenne 65 % (écart type = 11 %, mini 33 %, maxi 93 %).

Ainsi le premier trou libérerait une partie importante des contraintes, fait signalé par Guéneau (1973), mais il indiquait dans le cas de jauges d'extensométrie directement collées sur le bois, que le perçage du deuxième trou n'apportait qu'environ 20 % du total des déformations.

3. Pour connaître l'ordre de grandeur des contraintes longitudinales nous aurions dû déterminer certaines constantes mécaniques (modules d'Young..) à partir d'essais de traction et de compression. Mais comme cela ne fut guère possible à cause des difficultés d'usinage d'éprouvette à l'état vert, il n'a été réalisé que des essais de flexion statique 3 points sur des éprouvettes de dimensions normalisées 280 X 20 X 20 mm, confectionnées dans de l'aubier de merisier et testées à l'état vert ($H \% > 30 \%$).

Ses mesures réalisées sur six éprouvettes ont donné une valeur moyenne de E_L égale à $6500 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (E_L minimum = $6020 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, E_L maximum = $6780 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$).

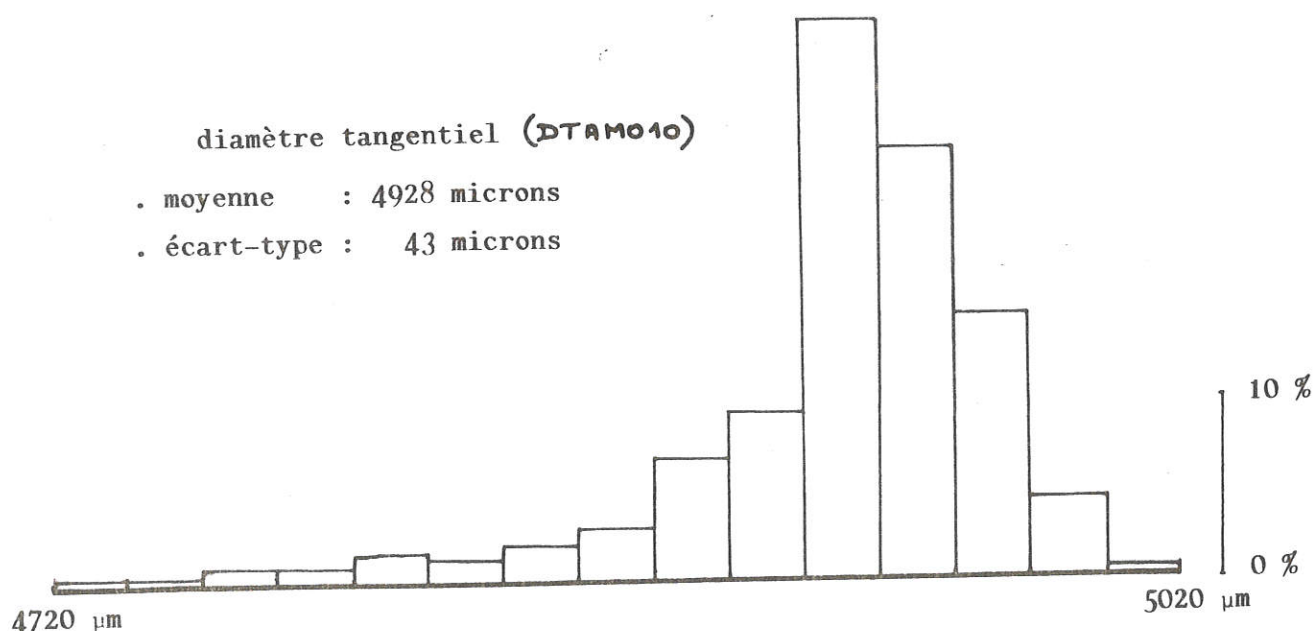
Pour une valeur de ϵ_L égale à 1000 microdéformations, la contrainte longitudinale serait de 650 N/cm^2 (la valeur de E_L pour une humidité de 12 % est égale à environ $10.500 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$).

5.1.4. Variabilité du diamètre tangentiel (DTAMO 10)

5.1.4.1. Sur l'ensemble des dix arbres

L'intervalle des diamètres tangentiels varie de 4733 à 5011 microns avec une moyenne et un écart type de valeurs respectives 4928 et 43 microns.

L'histogramme figure 17 indique la répartition de DTAMO 10 pour l'ensemble des 240 individus.



On voit combien ce diamètre est variable. Rappelons que pour chacune des 240 carottes la valeur de DTAMO 10 est une moyenne de 200 pts (10 zones x 20 mesures par zone) afin de tenir compte des variations locales essentiellement due à l'anatomie du bois (fibres, vaisseaux...).

5.1.4.2. Variabilité dans l'arbre

Le tableau 6 présente les valeurs de DTAMO 10 moyen et extrême pour chaque arbre et permet ainsi d'illustrer l'effet "arbre" et l'interaction "arbre orientation" trouvés (cf tableau 2).

N° Arbre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DTAMO 10 moyen	4923	4905	4916	4908	4926	4941	4928	4935	4954	4944
DTAMO 10 mini	4872	4779	4789	4759	4880	4921	4860	4906	4891	4841
DTAMO 10 maxi	4980	4998	4979	4986	4957	4983	4969	4976	4993	5011

Tableau 6 : DTAMO 10 moyen par arbre (en micron)

5.1.4.3. Variation autour de l'arbre et en hauteur

L'effet "orientation" très marqué est illustré par le tableau 7

Orientation	1 (tendu)	2 (neutre)	3 (opposé)	4 (neutre)
DTAMO 10 (moyenne sur 60 individus)	4915	4942	4945	4909

Tableau 7 : DTAMO 10 moyen pour les 4 orientations

Les orientations 1 et 3 sont opposées de même que les 2 et 4. On voit dans le tableau 7 l'opposition analogue des DTAMO 10 bien que la quatre soit indiquée neutre pratiquement. Sur certains arbres

cette orientation était en position tendue, ce qui explique les valeurs proches pour 1 et 4. Ce qui pourrait également expliquer l'interaction sensible "orientation-hauteur" (cf tableau 2).

Il n'y a pas d'effet "hauteur" sur DTAMO 10 (il existe peu de littérature sur ce sujet).

5.1.5. Variabilité de la veine verte

5.1.5.1. Sur l'ensemble des arbres

La singularité qu'est la veine verte a été appréciée et notée de trois façons différentes (voir paragraphe 4.2.5.2). L'effet "arbre" est important et il faut remarquer que neuf arbres sur dix étaient touchés de façon plus ou moins marquée par le défaut.

L'arbre 10, initialement choisi comme peu "contraint" fut le seul à ne pas être touché.

5.1.5.2. Variation autour de l'arbre et en hauteur

L'effet "orientation" trouvé sur le défaut s'illustre de la même façon que pour \mathcal{E}_L et DTAMO à savoir une importance du défaut plus marquée pour le côté tendu (1 : 0,92) ; une valeur minimum pour la position opposée (3 : 0,42) des valeurs intermédiaires pour les deux positions neutres (4 : 0,62 ; 2 : 0,43).

Mais à cela il faut ajouter l'effet "hauteur" que l'on ne trouve pas pour \mathcal{E}_L et DTAMO 10. On note l'homogénéité de la présence de veine verte aux différentes hauteurs (de 0 à 3 m) avec une présence plus marquée à la base (à 50 cm : 0,87, à 1 m : 0,65 et à 3 m : 0,40).

Les interactions "hauteur-arbre" et "orientation-arbre" peuvent s'expliquer par le fait que la localisation de veine verte est plus ou moins confuse.

Remarque. Cette remarque est relative à certaines observations faites sur la veine verte.

Sur les neuf arbres touchés, la veine verte ne se situait que dans le duramen de couleur brun-rosé, aussi bien dans le bois de printemps que dans le bois d'été. On a également noté parfois la présence

d'une ligne verte marquée au niveau du cerne situé à la limite aubier-duramen. Il se pourrait donc que la pigmentation verte n'apparaisse éventuellement lors du processus de duraminisation qui entraîne une discoloration importante (l'aubier étant de couleur jaune pâle et le duranem brun-rosé).

5.1.6. Variabilité de l'infradensité

5.1.6.1. Sur l'ensemble des 240 observations (10 arbres x 6 hauteurs x 4 orientations).

La moyenne pour l'ensemble des 240 mesures est de 484 g/dm³ et l'écart type de 30 g/dm³ ; les maximum et minimum ont pour valeurs respectives 584 g/dm³ et 413 g/dm³.

5.1.6.2. Variabilité par arbre

On voit dans le tableau 2 que les effets "arbres" et "hauteur" sont très importants et que l'effet "orientation" est moins marqué.

La variabilité entre arbres n'est pas négligeable : on peut citer l'arbre 9 qui a l'infradensité moyenne la plus faible (436 g/dm³) et l'arbre 7 l'infradensité moyenne la plus forte (502 g/dm³).

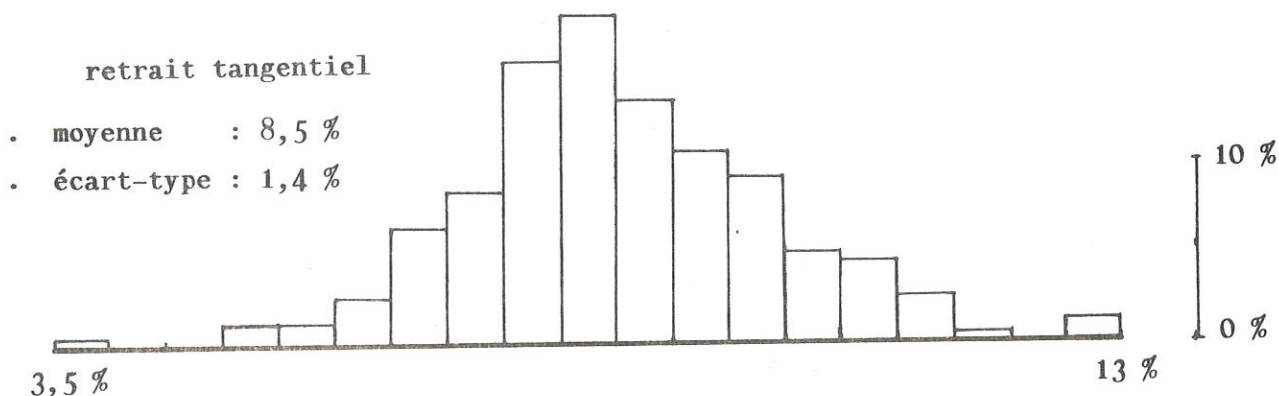
L'influence de la hauteur sur l'infradensité est un fait qui a déjà été trouvé par ailleurs sur des essences feuillues et résineuses diverses ; dans notre cas également l'infradensité diminue avec la hauteur ; ainsi l'infradensité moyenne pour l'ensemble des 240 passe de 506 g/dm³ pour 0,5 m à 472 g/dm³ pour 3 m. Au niveau de l'orientation la différence est beaucoup moins marquée ; ainsi les quatre orientations 1, 2, 3, 4 ont pour valeurs moyennes d'infradensité respectives 482, 487, 489, 480 g/dm³ (moyennes effectuées sur 60 mesures). A noter que le côté 1 supposé tendu, n'est pas le plus dense, ceci est dû à ce que l'endroit le plus tendu ne suit pas forcément une génératrice de l'arbre. Ce qui se traduit des interactions "arbre-orientation", "arbre-hauteur" significatives (cf. tableau 2).

5.1.7. Variabilité des retraits tangentiel et axial

Dans l'étude il n'a été mesuré que les retraits tangentiel et axial.

5.1.7.1. Retrait tangentiel

La variabilité du retrait tangentiel est illustrée pour l'ensemble des 240 carottes sur la figure 18 :



La moyenne se situe à 8,5 %, le minimum étant de 3,9 % et le maximum de 12,9 %.

La variabilité pour chaque arbre est importante [cf. tableau 2] ce qui n'est pas sans importance pour l'usage de bois de merisier.

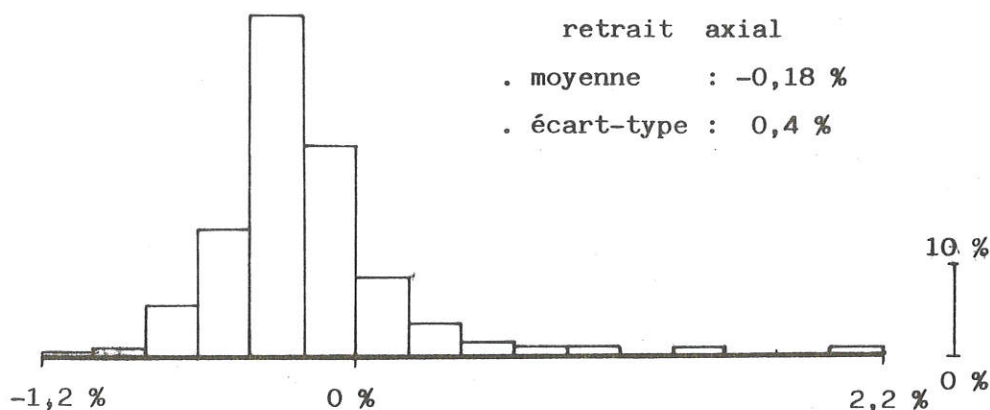
L'arbre 1 est celui ayant le retrait tangentiel le plus élevé 10,5 % (moyenne sur 24 carottes) et l'arbre 9 le moins important 7,3 %.

L'effet "hauteur" est également important (cf. tableau 2) ; on note une diminution en fonction de la hauteur de l'arbre. Ainsi à la hauteur de 50 cm le retrait tangentiel moyen est de 9,3 % (moyenne sur 40 points : 10 arbres x 4 orientations par arbre) et à la hauteur de 3m il est de 8 % (moyenne sur 40 points : 10 arbres x 4 orientations par arbre).

L'effet "orientation" est quant à lui moins accentué (cf. tableau 2) ; le retrait tangentiel est légèrement plus élevé au niveau moyen pour les côtés tendu et opposé (respectivement 8,6 % et 8,8 %) que pour les côtés neutres (8,5 % et 8,2 %). Notons que le retrait tangentiel n'est pas le plus élevé pour le côté supposé le plus tendu ceci pour la même raison évoquée précédemment à savoir que ce n'était pas toujours le côté 1 le plus tendu car la forme de l'arbre influence la position de l'endroit le plus tendu.

Précisons que les différentes interactions ne sont pas significatives pour le retrait tangentiel.

5.1.7.2. Retrait axial (figure 19)



On donne l'histogramme de ce retrait axial ; on note bien que le retrait axial moyen est proche de 0 %, il prend de façon ponctuelle des valeurs négatives ou positives qui sont sûrement intéressantes.

Notons qu'il y a un effet "arbre" important, l'arbre 4 ayant le retrait axial le plus fort (0,11 %) et l'arbre 7 le plus faible (-0,36%), (précisons que l'arbre 4 se distingue par ailleurs pour étant le plus contraint des 10). Il y a également un léger effet orientation, les orientations 1, 2, 3, 4 ayant respectivement pour valeurs de retrait axial -0,14 %, -0,27%, -0,23%, -0,08 % ; le côté 1 ne se détache pas des autres, ceci pour la même raison signalée précédemment (le côté 1 n'étant pas toujours le plus tendu).

Précisons également qu'il y a une légère interaction "orientation-arbre".

5.2. Liaison diamètre tangentiel de carotte-déformation longitudinale enregistrée avec le capteur "Gueneau et Saurat"

5.2.1. Liaison inter-arbre et intra-arbre (tableau 8)

. Sur la figure 20, on a représenté le "nuage" correspondant à la relation $DTAMO_{10} - \varepsilon_L$ au niveau moyenne d'arbre (les 10 points correspondent à la moyenne calculée sur 24 éléments). On obtient une corrélation non significative $r = -0,578$ NS

. On remarque que les arbres du groupe supposé les moins contraints [n° 6 à 10] se situent dans une même zone ; pour les autres,

N° Arbre	DTAMO 10 (μm)	ϵ_L (μdef)	Coefficient de corrélacion	
1	4923 - 23	878 - 336	- 498*	Arbres supposés plus "contraints"
2	4905 - 64	560 - 515	- 761***	
3	4916 - 53	818 - 481	- 769***	
4	4908 - 78	1059 - 811	- 772 ***	
5	4926 - 23	303 - 173	- 283 NS	
6	4941 - 17	515 - 171	- 352 NS	Arbres supposés peu "contraints"
7	4928 - 28	593 - 188	- 441*	
8	4935 - 15	462 - 158	- 202 NS	
9	4954 - 19	461 - 241	- 404*	
10	4944 - 39	497 - 240	- 445*	
Moyenne Géné. e.t	4928 - 43	615 - 439		

Tableau 8 : Valeurs moyennes et écart type de DTAMO 10 et ϵ_L
Corrélation entre les deux variables

. dans chaque case de DTAMO 10 et de ϵ_L , la valeur située à gauche est la moyenne ; celle de droite représente l'écart-type.

. les coefficients de corrélation sont multipliés par 1.000

- NS : non significatif

- significatif au risque de 5% *

1%**

1°/°°***

supposés plus contraints, les arbres n° 1, 3 et 4 sont plus ou moins groupés tandis que les n° 2 et 5 sont dispersés.

. Si l'on considère les arbres un à un et que l'on s'intéresse aux liaisons intraarbres (24 points de mesures pour chacun), alors DTAMO 10 et ε_L sont fortement corrélés pour les arbres n° 2, 3 et 4 et moyennement corrélés pour les n° 1, 7, 9 et 10.

En revanche, pour les arbres n° 5, 6 et 8 la liaison n'est pas significative ; il faut noter que ces arbres ont des valeurs moyennes de ε_L inférieure à la moyenne des 10 arbres.

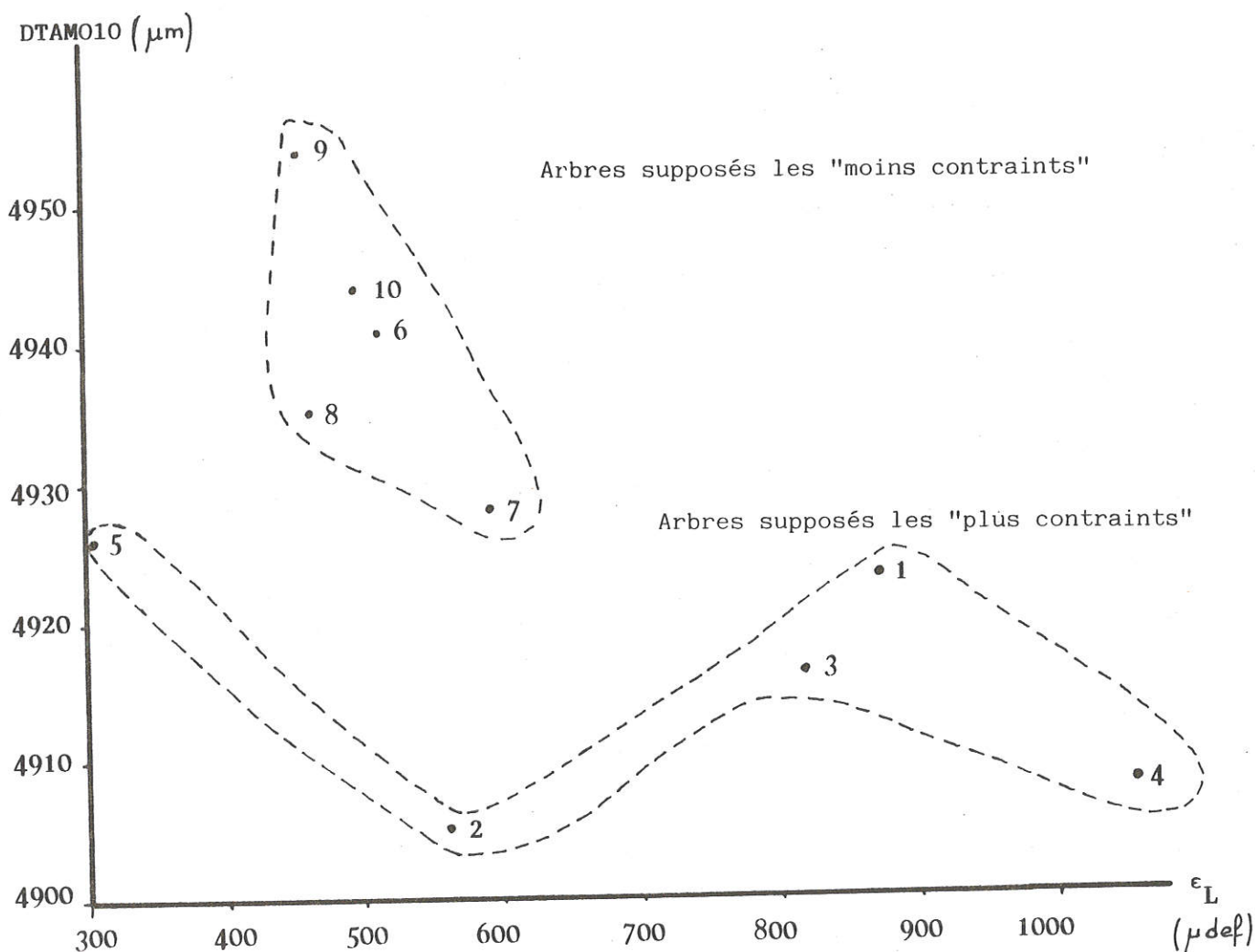


FIGURE n° 20 :

RELATION DIAMETRE TANGENTIEL - DEFORMATION LONGITUDINALE
AU NIVEAU MOYENNE D'ARBRE

. Liaison intraarbres (230 degrés de liberté, issue d'une analyse de variance à un facteur contrôlé l'effet "arbre").

On obtient une corrélation entre les deux variables DTAMO 10 et ξ_L de $r = -0,674^{***}$.

Ce résultat confirme à nouveau ce qu'avait trouvé Polge et Thiercelin (1979) chez le hêtre et confirmé par Ferrand (1981) chez le hêtre, le peuplier et l'eucalyptus.

Notons que les arbres ayant le plus de dispersion des DTAMO 10 et ceux que l'on supposait les plus contraints sont aussi ceux qui ont le plus de dispersion de ξ_L . La corrélation obtenue entre l'écart type de DTAMO 10 et l'écart type de ξ_L (cf. tableau 8) est excellente $r = 0,930^{***}$ [cf. fig. 21], et nous permet de penser qu'il faudrait confirmer ce résultat et éventuellement l'améliorer afin d'en tirer une progression de la méthode de détection d'arbres contraints, c'est-à-dire non pas en considérant les valeurs des diamètres des carottes de sondage mais en regardant l'écart de ces valeurs.

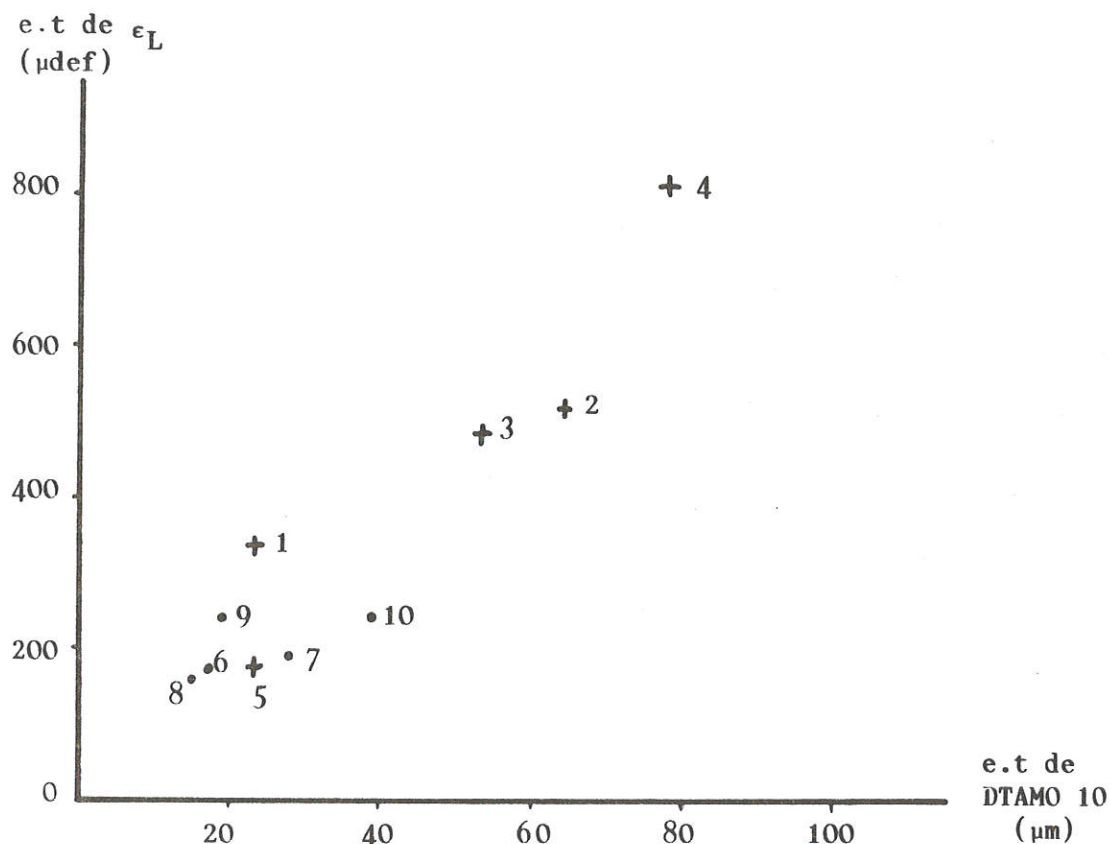


FIGURE n° 21 :

LIAISON ENTRE ECART-TYPE DE DTAMO 10 ET ECART-TYPE DE ϵ_L ($r = 0,930^{***}$)

Remarques

1. La liaison DTAMO 10 - ξ_L sur les 240 points de mesure (10 arbres x 24 mesures/arbre) est très significative avec une valeur de $r = -0,65^{***}$ proche des valeurs de r trouvée précédemment.

$r = -0,68^{***}$ (Polge et Thiercelin, 1979, 430 individus)

$r = -0,67^{***}$ (Ferrand, 1981, 50 individus)

Le nuage de points reliant les deux variables figure en annexe 7

2. Les résultats décrits dans ce paragraphe 5.2 concernant ξ_L et DTAMO 10 confirment ceux obtenus dans le paragraphe 5.1 (tableau 2) montrant déjà le même type de variabilité (des estimations des contraintes mesurées avec les deux méthodes, en fonction de l'arbre, de l'orientation et de la hauteur.

3. La corrélation entre diamètre tangentiel de carottes et déformation longitudinale mesurée à l'aide du capteur "Guéneau et Saurat" notée dans cette étude est négative comme pour les autres études consacrées à ce sujet sur d'autres essences.

Hormis des suppositions quant à l'interaction bois-tarière au cours du sondage, nous ignorons encore l'explication de ce "phénomène".

5.3. Liaison entre les différentes déformations résultantes de la modification de l'état des contraintes de croissance lors du débit d'une part, le diamètre tangentiel et les déformations longitudinales mesurées sur l'arbre d'autre part

5.3.1. Liaison entre l'importance des fentes à l'abattage et DTMAO 10

Si l'on considère le DTAMO 10 moyen par arbre, nous obtenons une corrélation négative et non significative $r = -0,588$ NS (8 d.d.1). Mais si l'on considère l'écart type de DTAMO 10 par arbre, la corrélation positive obtenue est significative $r = 0,633^*$ (8 d.d.1). Ce résultat appuie l'idée avancée à la fin du paragraphe 5.2.

Nous avons regardé les corrélations obtenues entre l'importance des fentes et deux séries de diamètres tangentiels. Une première constituée des DTAMO 10 située sur la face tendue de l'arbre et une deuxième constituée des DTAMO 10* ; DTAMO 10* étant la moyenne arithmétique des DTAMO 10 des carottes prélevées sur les côtés de la dosse prélevée en zone tendue [cf. fig. 22].

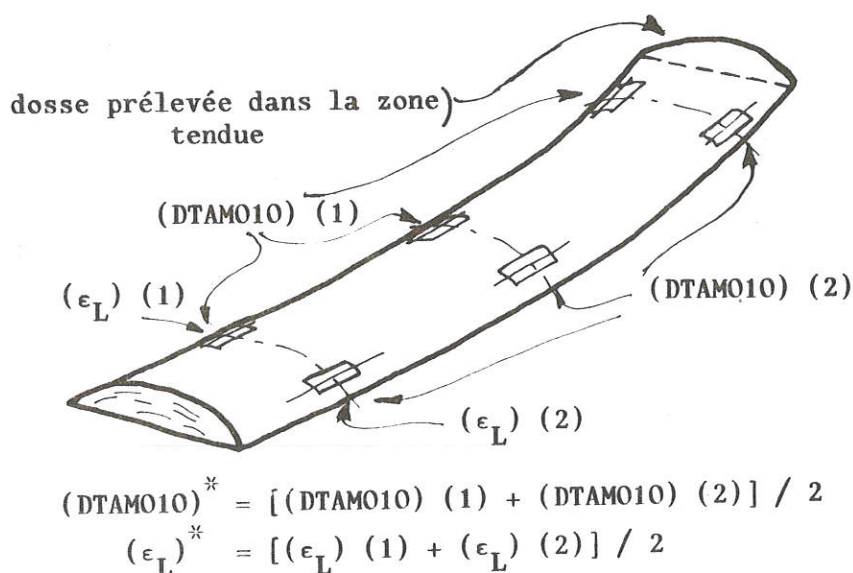


FIGURE n° 22 : PRESENTATION DES VALEURS DE $(DTAMO10)^*$ ET $(\epsilon_L)^*$

Les corrélations obtenues (cf. tableau 9) sont intéressantes dans la mesure où les hauteurs concernées sont utiles pour les forestiers ($r = -0,750^*$ à $1,5m$).

Celles obtenues avec DTAMO 10* sont quelque peu différentes de celles obtenues avec DTAMO 10 mais sans être meilleures.

Hauteur (m)	H1 \approx 0,5	H2 \approx 1,0	H3 \approx 1,5	H4 \approx 2,0	H5 \approx 2,5	H6 \approx 3,0
DTAMO 10 (μm)	-0,572 NS	-0,508 NS	-0,750 *	-0,814 **	-0,516 NS	-0,566 NS
DTAMO 10* (μm)	-0,660 *	-0,633 *	-0,616 NS	-0,782 **	-0,124 NS	-0,348 NS
ϵ_L (μ déf)	0,743 *	0,728 *	0,941 ***	0,951 ***	0,839 **	0,233 NS
ϵ_{L^*} (μ déf)	0,642 *	0,705 *	0,864 **	0,910 ***	0,823 **	0,540 NS

Tableau 9 : Corrélations entre l'importance des fentes à l'abattage et DTAMO 10 et ϵ_L aux \neq hauteurs (8 d.d.1)

5.3.2. Liaison entre l'importance des fentes et les déformations longitudinales (ϵ_L mesurées sur l'arbre)

Si l'on considère ϵ_L par arbre (moyenne sur 24 données), la corrélation entre ce ϵ_L moyen et l'importance des fentes est très bonne $r = 0,972***$. La corrélation entre l'écart type de ϵ_L et l'importance des fentes est moins bonne $r = 0,834**$, mais elle montre que les arbres ayant un intervalle de ϵ_L important sont également "nerveux".

Si l'on considère plus précisément les valeurs de ϵ_L mesurées sur la face tendue, les corrélations obtenues sont intéressantes et meilleures que celles concernant DTAMO 10 (voir tableau 9). Nous avons également calculé les corrélations entre l'importance des fentes et ϵ_L , ϵ_{L^*} étant calculé de manière analogue à DTAMO 10* [cf. fig. 22]. Dans ce cas, les corrélations obtenues sont similaires à celles obtenues avec ϵ_L .

Que ce soit avec ϵ_L ou ϵ_{L^*} , les meilleures corrélations sont obtenues pour des hauteurs analogues à celles trouvées pour DTAMO 10 (exemple $r = 0,941***$ à 1,5 m).

5.3.3. Liaison entre l'ouverture du trait de scie et le diamètre tangentiel des carottes (DTAMO 10)

Si l'on considère DTAMO 10 moyen par arbre (moyenne sur 24

données) on obtient une corrélation négative mais non significative ($r = -0,349$ NS). Si l'on prend en compte l'écart type de DTAMO 10 par arbre, on obtient également une corrélation non significative ($r = 0,404$ NS).

En revanche, en ne corrélant que les diamètres tangentiels des carottes prélevées sur la face tendue, les corrélations sont très intéressantes (cf. tableau 10), les meilleures se situant comme dans les paragraphes 5.3.1 et 5.3.2 à des hauteurs intéressantes sur le plan pratique.

Hauteur (m)	H1 $\approx 0,5$	H2 $\approx 1,0$	H3 $\approx 1,5$	H4 $\approx 2,0$	H5 $\approx 2,5$	H6 $\approx 3,0$
DTAMO 10 (μm)	-0,760 *	-0,776 **	-0,815 **	0,926 ***	-0,676 *	-0,752 *
DTAMO 10* (μm)	-0,851 **	-0,844 **	-0,665 *	-0,588 NS	0,107 NS	-0,112 NS
ε_L (μ déf)	0,628 NS	0,685 *	0,799 **	0,918 ***	0,901 ***	0,726 *
ε_{L^*} (μ déf)	0,763 *	0,791 **	0,915 ***	0,849 **	0,826 **	0,431 NS

Tableau 10 : Corrélations entre l'ouverture du trait de scie et DTAMO 10 et ε_L aux différentes hauteurs (8 d.d.l)

Nous avons également calculé le coefficient de corrélation entre DTAMO 10* (cf. fig. 22) avec l'ouverture du trait de scie, les corrélations obtenues sont nettement moins bonnes que dans le cas de DTAMO 10 excepté pour les hauteurs H1 et H2.

5.3.4. Liaison entre l'ouverture du trait de scie et les déformations longitudinales (ε_L) mesurées sur l'arbre

La corrélation entre ε_L moyen (moyenne sur 24 points de mesures) par arbre et l'ouverture moyenne du trait de scie est de $r = 0,851^{**}$;

quant à la corrélation de l'écart type de ϵ_L moyen par arbre et l'ouverture moyenne du trait de scie, elle est moins bonne $r = 0,664^*$.

Dans le tableau 10 figurent les différentes corrélations obtenues entre ϵ_L , ϵ_L^* et l'ouverture moyenne du trait de scie. Comme dans le paragraphe 5.3.2, les meilleures corrélations intéressantes sont celles qui correspondent à des hauteurs intéressantes sur le plan pratique (exemple $r = 0,799^{**}$ à 1,5 m).

Les corrélations concernant ϵ_L^* sont légèrement différentes de celles concernant ϵ_L , sans être nettement meilleures.

5.3.5. Liaison entre la déformation longitudinale d'une dosse (EXTEND) prélevée dans la zone tendue et le diamètre tangentiel des carottes (-DTAMO 10)

La corrélation obtenue entre EXTEND moyen par arbre et DTAMO 10 moyen par arbre est non significative ($r = 0,113$ NS).

Si l'on considère les DTAMO 10 des carottes prélevées dans la zone tendue, là encore les corrélations obtenues entre DTAMO 10 et EXTEND sont non significatives (exemple $r = -0,198$ à une hauteur de 1 m). Des résultats analogues ont été obtenus avec DTAMO 10*.

5.3.6. Liaison entre la déformation longitudinale d'une dosse (EXTEND) prélevée dans la zone tendue et les déformations longitudinales sur l'arbre (ϵ_L)

La corrélation trouvée entre les deux variables EXTEND moyen par arbre et ϵ_L moyen par arbre n'est pas significative ($r = -0,115$ NS).

En ne considérant les valeurs de ϵ_L mesurées sur la face tendue, les corrélations trouvées entre ϵ_L et EXTEND sont également non significatives (exemple $r = 0,151$ à une hauteur de 1 m). Des résultats similaires ont été obtenus avec ϵ_L^* .

Remarque.

Les corrélations non significatives obtenues dans les paragraphes 5.3.5 et 5.3.6 peuvent être surprenantes.

Les résultats obtenus sont peut-être dus au fait que l'état de contrainte local d'un arbre se trouve fortement bouleversé lors

des différentes transformations que subit l'arbre ou les billons (abatage, tronçonnage, transport...). Ainsi, comme le signale Guéneau (1974) à un même endroit d'un arbre, on obtient des valeurs de déformations longitudinales différentes suivant que l'on est sur l'arbre sur pied ou que l'on mesure sur un billon issu de cet arbre. La déformation longitudinale d'une dosse prélevée sur un billon est probablement liée à l'état de contraintes de ce billon avant débit mais elle n'est pas forcément liée à l'état de contrainte dans ce même billon situé dans l'arbre.

Il faut également ajouter que l'on ne tenait pas compte de la géométrie de la dosse, les billons n'étant pas parfaitement cylindriques les dosses avaient des conformités différentes (variation d'épaisseur, surfaces sciées différentes...). Aussi cette "géométrie" de la dosse devrait certainement être prise en compte lors de telles mesures.

5.4. Liaison entre la présence de veine verte d'une part, le diamètre tangentiel des carottes (DTAMO 10) et les déformations longitudinales mesurées sur l'arbre (ϵ_L) d'autre part

Les corrélations obtenues entre la présence de veine verte et DTAMO 10 moyen (moyenne sur 24 données par arbre) d'une part et ϵ_L moyen (moyenne sur 24 mesures par arbres) d'autre part ont pour valeurs respectives $r = -0,316$ et $r = +0,346$; toutes deux non significatives, avec toutefois des signes intéressants.

En considérant les valeurs de DTAMO 10 et ϵ_L obtenues sur la face tendue de l'arbre et en les corrélant avec les notes de veine verte attribuées à ce même endroit, les corrélations obtenues sont non significatives, négatives dans le cas de DTAMO 10 (exemple $r = -0,416$ à 1,5 m), positives dans le cas de ϵ_L (exemple $r = 0,462$ à 1,5 m).

Remarque.

Il faut rappeler que la veine verte était située de façon disparate dans l'arbre aussi bien du côté tendu qu'ailleurs (voir tableau 2).

Ainsi pour les zones "tendues" à l'intérieur des arbres il y avait souvent de la veine verte alors qu'ailleurs (zones opposées et

neutres) il était possible d'en trouver comme de ne pas en voir. Ferrand en 1983 et Polge en 1984 avaient déjà signalé cette répartition variée et compliquée de la veine verte dans l'arbre.

5.5. Liaison du diamètre tangentiel des carottes et des déformations longitudinales mesurées sur l'arbre avec les principales caractéristiques dendrométriques des arbres de l'étude

5.5.1. Liaison entre les principales caractéristiques dendrométriques et DTAMO 10

L'inclinaison de l'arbre d'une part et dans une moindre mesure la surface du houppier sont corrélées avec DTAMO 10 moyen (moyenne sur 24 mesures par arbre) avec des coefficients de corrélations respectifs égaux à $r = -0,819^{**}$ et $r = -0,660^{*}$.

(Rappelons que les arbres supposés "plus contraints" avaient été choisis plus inclinés que les autres).

Les autres caractéristiques dendrométriques sont corrélées de façon non significatives avec DTAMO 10 (voir tableau 11).

Variables	DTAMO 10 moyen	DTAMO 10 côté tendu à 1 m	DTAMO 10 Côté tendu à 1,5 m
Age	-0,118 NS	-0,190 NS	0,094 NS
Hauteur totale	0,101 NS	0,149 NS	0,291 NS
Circonférence à 1,30 m	0,297 NS	-0,128 NS	-0,001 NS
Coefficient de décroissance	0,621 NS	0,452 NS	0,263 NS
Surface du houppier	-0,660*	-0,740*	-0,534 NS
Excentricité du houppier	-0,415 NS	-0,726*	-0,566 NS
Inclinaison	-0,819**	-0,690*	-0,723*

Tableau 11 : Corrélations entre DTAMO 10 et différentes caractéristiques dendrométriques

Nous indiquons également dans le tableau 11, les corrélations obtenues entre les différentes caractéristiques anatomiques et DTAMO 10 des carottes prélevées à 1 m et 1,5 m sur la face supposée tendue des arbres.

L'inclinaison de l'arbre, la surface et l'excentricité du houppier sont corrélées de façon significative avec DTAMO 10 à 1 m côté tendu ce qui est intéressant d'un point de vue pratique. Les corrélations sont un peu moins intéressantes au niveau de 1,5 m.

Remarques.

La liaison négative avec inclinaison confirme ce qui a déjà été trouvé par ailleurs (Ferrand, 1981 ; Nicot, 1983). La liaison négative avec la surface du houppier est de signe contraire à celle qu'avait trouvé Ferrand (1981) pour le hêtre mais, il faut préciser que notre échantillonnage est restreint (10 arbres) comparativement à l'échantillonnage de Ferrand (386 arbres) d'une part et d'autre part nous nous situons dans une gamme de diamètre d'arbre et de surface de houppier qui n'est pas comparable.

Ce point est très important sur le plan sylvicole ; il demande à être confirmé par une étude portant sur un plus grand nombre d'arbres.

5.5.2. Liaison entre les principales caractéristiques dendrométriques et les déformations longitudinales

Si l'on considère ϵ_L moyen par arbre, seule la circonférence à 1,30 m est corrélée positivement de façon significative avec ϵ_L (cf. tableau 12).

Dans le cas des valeurs de ϵ_L obtenues sur la face tendue de l'arbre, les corrélations sont non significatives exceptées celles concernant la surface du houppier.

A noter que cette corrélation va dans le même sens que celle trouvée avec DTAMO 10 (côté tendu) et là encore contraire à ce que l'on attendait si l'on se base sur les résultats de Ferrand.

Remarques.

Les corrélations obtenues entre les différentes caractéristiques dendrométriques et les diamètres tangentiels des carottes d'une part et les déformations longitudinales mesurées sur l'arbre d'autre part, peuvent sembler décevantes, mais il faut noter le faible nombre d'arbres (10) qui nous ont servi à faire l'étude.

Il faut ajouter également que ces corrélations vont toujours dans le même sens.

Variables	ϵ_L moyen	ϵ_L côté tendu à 1m	ϵ_L côté tendu à 1,5m
Age	0,362 NS	0,022 NS	0,100 NS
hauteur totale	0,297 NS	0,065 NS	0,160 NS
Circonférence à 1,30 m	0,649*	0,610 NS	0,610 NS
Coefficient de décroissance	-0,479 NS	-0,282 NS	-0,445 NS
Surface du houppier	0,628 NS	0,666*	0,681*
Excentricité du houppier	0,258 NS	0,460 NS	0,355 NS
Inclinaison	0,223 NS	0,192 NS	0,464 NS

Tableau 12 : Corrélations entre ϵ_L et différentes caractéristiques dendrométriques

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

. Outre l'apport de renseignements originaux sur le bois de merisier notamment en ce qui concerne les contraintes de croissance et leurs inconvénients (fente à l'abattage..) antérieurement peu connus sur cet arbre, cette étude aura permis de mieux connaître ce bois très recherché par les industriels (trancheurs, ébénistes...). Ces mêmes industriels nous ont éclairé, au travers de leurs réponses au questionnaire que nous leur avons envoyé (cf. annexe 1) ; plus précisément, ils nous ont indiqué quelques problèmes qu'ils rencontraient pour l'utilisation de bois ou de placage de merisier en liaison avec la singularité qu'est la veine verte.

Cette étude nous a également permis de répondre positivement à la plupart des quatre questions posées en introduction.

. En premier lieu, la relation trouvée par Polge et Thiercelin en 1979 sur du hêtre, liant le diamètre tangentiel des carottes de sondage mesuré à l'état frais et les déformations longitudinales résiduelles en périphérie d'un arbre, relation confirmée par Ferrand en 1981 sur le hêtre, le peuplier et l'eucalyptus est confirmée pour le merisier.

Il faut ajouter la très bonne corrélation obtenue entre l'écart type des diamètres tangentiels (par arbre) et l'écart type des déformations longitudinales ($r = 0,930^{***}$ avec 8 d.d.l) qui doit inciter à l'avenir à accorder une attention particulière non seulement aux valeurs des diamètres tangentiels de carottes mais également à l'écart entre les diamètres tangentiels des carottes de sondage éventuellement prélevables sur un arbre. Cette méthode pourrait sans doute nous aider à progresser dans la résolution du difficile problème de l'étalonnage des tarières de Pressler pour ces mesures.

. En deuxième lieu, des corrélations intéressantes ont été trouvées entre les diamètres tangentiels des carottes prélevées sur la

face tendue de l'arbre et le bouleversement de la répartition des efforts dans le bois lors du tronçonnage et du débit que nous avons appréciés par l'importance des fentes à l'abattage et au tronçonnage d'une part et l'ouverture moyenne du trait de scie d'autre part. Ces corrélations sont d'autant plus intéressantes qu'elles concernent les mesures prises à des hauteurs accessibles pour les forestiers (1 mètre - 1,5 mètre).

Les corrélations trouvées entre le diamètre tangentiel moyen par arbre d'une part, l'importance des fentes apparues immédiatement après l'abattage et l'ouverture moyenne du trait de scie d'autre part sont non significatives mais négatives. En revanche, l'écart type des diamètres tangentiels est bien corrélé avec l'importance des fentes.

En ce qui concerne la veine verte, la corrélation obtenue entre son importance et le diamètre tangentiel moyen par arbre est non significative mais négative.

Il en est de même de celle obtenue entre l'importance de la veine verte et les diamètres tangentiels des carottes prélevées sur la face tendue. Les valeurs et les signes des corrélations obtenues nous inciteraient tout de même à poursuivre dans cette voie, avec un échantillonnage d'arbres plus important. Les résultats concernant les déformations longitudinales d'une dosse prélevée en zone tendue et le diamètre tangentiel moyen par arbre ou les diamètres tangentiels des carottes issus de la zone tendue sont décevants.

Il faut ajouter que les différentes corrélations obtenues en considérant la moyenne des diamètres tangentiels de carottes prélevées à 90° l'une de l'autre (DTAMO 10*) sont peu différentes de celles obtenues en considérant les diamètres tangentiels des carottes extraites de la zone tendue.

En troisième lieu, des corrélations très intéressantes ont été trouvées entre les déformations longitudinales et l'importance des fentes à l'abattage et l'ouverture du trait de scie. Ceci tant au niveau moyen par arbre que de façon locale en considérant uniquement les valeurs mesurées sur la face tendue.

Comme dans le cas du diamètre tangentiel l'intérêt de ce résultat est d'autant plus marqué que les corrélations obtenues sont très bonnes pour des hauteurs de 1 mètre et 1,5 mètre. Ajoutons que des

corrélations également intéressantes sont obtenues entre l'écart type des déformations et l'importance des fentes et l'ouverture du trait de scie.

En ce qui concerne la veine verte, elle n'est pas liée avec les déformations longitudinales tant au niveau moyen par arbre qu'en ne considérant les valeurs relatives à la face tendue.

Le signe en est toutefois positif ce qui nous incitera à poursuivre dans cette voie avec un échantillonnage d'arbres plus conséquent.

Les déformations longitudinales d'une dosse prélevée en zone tendue et les déformations longitudinales mesurées sur l'arbre ne sont pas corrélées de façon significative.

. En quatrième lieu, ces résultats permettent au forestier de détecter les arbres plus fortement contraints, c'est-à-dire entre autres susceptibles de fendre à l'abattage. Les résultats sont encore insuffisants pour lui fournir une méthode simple lui permettant de trouver les merisiers susceptibles d'avoir de la veine verte.

Néanmoins on peut affirmer que les merisiers "fortement" contraints localement (par exemple à la patte ou près d'une courbure) ont de fortes chances d'avoir de la veine verte à ces endroits, ce qui donne au point de vue sylvicole, une raison supplémentaire pour l'élimination d'arbres penchés ou courbés de façon trop importante, ainsi que les arbres dont le houppier est fortement excentré.

Pour réaliser ces différentes détections, le forestier devra obligatoirement tenir compte de la position tendue des arbres, il pourra alors prélever une carotte suivant cette position à une hauteur comprise entre 1 mètre et 1,5 mètre. Bien sûr la position tendue d'un arbre n'est pas toujours facilement repérable notamment dans le cas d'arbres "droits", à ce moment l'expérience permet de choisir tel endroit plutôt que tel autre.

Dans l'hypothèse de l'extraction de deux carottes de sondage (une étant prélevée sur le côté tendu, l'autre sur le côté neutre) et sur la base de nos résultats qui ont mis en évidence la liaison entre l'écart type des diamètres tangentiels à l'intérieur de l'arbre et l'importance des fentes à l'abattage il y a tout lieu de penser, mais c'est à confirmer par une exploitation de nos données que la prise en compte simultanée du diamètre tangentiel des carottes prélevées côté tendu et l'écart des diamètres des deux carottes pourrait permettre une meilleure prédiction des arbres fortement contraints.

L'ensemble de ces résultats confirme les connaissances antérieures sur les contraintes de croissance et leur appréciation de manière non destructive sur le hêtre, le peuplier et l'eucalyptus.

Il faut notamment souligner le comportement similaire des deux méthodes de mesures utilisées lors de l'étude : la mesure de diamètre tangentiel de carottes d'une part et la mesure de déformations longitudinales résiduelles à l'aide du capteur "Guéneau et Saurat" d'autre part. Ces deux méthodes bien que très différentes sur le principe, nous ont donné des résultats très proches tant en ce qui concerne leurs relations réciproques que celles que l'on a pu mettre ou non en évidence avec le comportement du bois de merisier au tronçonnage et au débit. Ceci illustre une fois encore l'intérêt de la méthode de mesure non destructive sur carotte de sondage.

Ajoutons que pour des raisons techniques, l'ensemble de ces résultats a été trouvé sur une partie seulement des mesures réalisées lors de l'étude. Il reste une masse importante de données exploitables notamment celles relatives aux diamètres tangentiels de carottes suivant différentes zones de mesures situées du cambium vers la moëlle. Aussi serait-il intéressant d'approfondir les calculs et les recherches notamment en tenant compte non seulement des valeurs des diamètres tangentiels le long des carottes mais également de la variation de ces diamètres le long de l'échantillon.

Enfin une meilleure connaissance du "phénomène" contrainte de croissance en liaison avec les aspects physiologiques et surtout rhéologiques est toutefois indispensable pour progresser de manière décisive dans les recherches relatives à cette question qui est de grande importance pour une bonne utilisation du bois.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNUAIRE FRANCE BOIS, 1984 - UFAP, Trappes.

ARCHER R.R., 1976 - On the distribution of tree growth stresses. Part. II : Stresses due to asymmetric growth strains. Wood Science and Technology, vol. 10, 293-309.

ARCHER R.R., 1985 - On the distribution of tree growth stresses. Part V : Asymmetric peripheral growth strains with orthotropic material behavior. Wood Science and Technology, vol. 19, 259-276.

BOYD J.D., 1950 - The growth stresses.
I - Growth stress evaluation. Aus. J. Sci. Res., B3, 270-293.
III - The origin of growth stresses. Aus. J. Sci. Res., B3, 294-309.

BOYD J.D., 1985 - The key factor in growth stress generation in trees lignification or crystallisation ? IAWA Bulletin, n.s., vol. 6 (2), 139-150.

CHAFE S.C., 1985 - Variation in longitudinal growth stress with height in trees of *Eucalyptus nitens* Maiden. Aus. For. Res., 15, 51-5.

C.T.B., 1983 - Propriétés des principales essences utilisées en France. Brochure du Centre Technique du Bois, Paris.

FERRAND J.Ch., 1981 - Recherches des solutions pratiques à apporter aux problèmes posés par les contraintes de croissance des arbres forestiers. Thèse de Docteur-Ingénieur en Sciences du Bois, I.N.P.L., 11/12/1981.

FERRAND J.Ch., 1983 - La veine verte. Est-ce du bois de tension ? R.F.F., n° 2, 95-97.

GUENEAU P., 1973 - Contraintes de croissance. Cahiers Scientifiques du C.T.F.T., n° 3, Juin.

GUENEAU P., SAURAT J., Y. TRENARD, 1974 - Contraintes de croissance. Rapports du Centre Technique du Bois, Paris.

GUENEAU P., TRENARD Y., 1975 - Relations entre contraintes de croissance longitudinales et bois de tension dans le hêtre. Holzforschung, 29, Heft 6, 217-223.

JACOBS M.R., 1939 - Further studies on fibre tension. Commonw. For. Bur. Bull. n° 24, Canberra.

KUBLER H., 1959 - Studien über Wachstumsspannungen des Holzes. Erste Mitteilung : Die Ursache der Wachstumsspannungen und die Spannungen quer zur Faserrichtung. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 17, 1-9.

- KUBLER H., 1959 - Studien über Wachstumsspannungen des Holzes. Zweite Mitteilung : Die Spannungen in Faserrichtung. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 17, 44-54.
- LENZ O., STRASSLER H.J., 1959 - Contribution à l'étude de l'éclatement des billes de hêtre (*Fagus silvatica*, L.). Mémoires de l'Institut Suisse de Recherches Forestières, vol. 35, fasc. 5, 1959.
- MARIAUX A., 1981 - Structure fine de bois tropicaux dans différents cas de contraintes résiduelles de croissance. Compte-rendu de fin de contrat D.G.R.S.T., A.C. "Matériau-Bois", décision d'aide n° 78-7-2549 modifiée 78-7-2549-01, C.T.F.T., Nogent s/Marne.
- MASSET P.L., 1977 - Etude sur les liaisons entre la qualité technologique du bois de merisier et la station. Thème personnel E.N.G.R.E.F., Nancy.
- MURPHEY W.K., 1963 - Cell-wall cristallinity as a function of tensile strain. For. Prod. J., 13, 151-155.
- NICHOLSON J.E., 1973 - Growth stress differences in eucalyptus. For. Sci., 19, 169-84.
- NICOT P., 1983 - Etude des exigences stationnelles, des performances de croissance, de la sylviculture et de la qualité du bois du Frêne et du Merisier dans diverses stations d'Alsace. Mémoire de 3e année E.N.I.T.E.F.
- OKUYAMA T., 1983 - Mesure locale des contraintes de croissance près du cambium. Report of Some Experimental Works on Growth Stress in Wood., C.T.B., Paris.
- OKUYAMA T., SASAKI Y., KIKATA Y., KAWAI N., 1981 - The seasonal change in growth stress in the tree trunk. Mokuzai Gakkaishi, vol. 27, n° 5, 350-355.
- POLGE H., THIERCELIN F., 1979 - Growth stress appraisal through increment core measurements. Wood Science, 12 (2), 86-92.
- POLGE H., 1984 - Essai de caractérisation de la veine verte du merisier. Ann. Sci. forest., 41 (1), 45-58.
- YAO J., 1979 - Relationships between height and growth stresses within and among White Ash, Water Oak, and Shagbark Hickory. Wood Science, vol. 11, n° 4, 246-251.
-

<u>LISTE DES ANNEXES</u>		Page
<u>ANNEXE 1</u>	: Questionnaire envoyé à différents industriels (en face de chaque case, il est donné le nombre de réponses obtenues)	67
<u>ANNEXE 2</u>	: Représentation des projections des houppiers des arbres sur lesquels a porté l'étude	69
<u>ANNEXE 3</u>	: Plan d'ordre de sondage pour chaque arbre	78
<u>ANNEXE 4</u>	: Valeurs des déformations longitudinales résiduelles mesurées à l'aide du capteur "Guéneau-Saurat)	79
<u>ANNEXE 5</u>	: Valeurs des diamètres tangentiels moyens (DTAM010)	80
<u>ANNEXE 6</u>	: Note d'importante de veine verte attribuée à chaque point de mesure	81
<u>ANNEXE 7</u>	: Liaison DTAM010 - ϵ_L	82
<u>ANNEXE 8</u>	:: Exemple de correspondance entre diamètre tangentiel de carottes et déformation longitudinale mesurée sur l'arbre (arbre 2, H3)	83
<u>ANNEXE 9</u>	: Dessin des fentes apparues après abattage (le houppier est indiqué sur chaque vue, de même que les 4 orientations des points de mesure)	84
<u>ANNEXE 10</u>	: Photo de la section supérieure du billon 1.1.A montrant deux types de fentes radiales	87

QUESTIONNAIRE

- . Cubage scié ou tranché annuellement $20\,000 + 3\,000 + 4\,500 + 4\,800 + 7\,500 \text{ (m}^3\text{)}$
- . Cubage de Merisier $1\,500 + 1\,000 + 3\,000 + 2\,100 + 2\,500 + 2\,500 + 1\,000 \text{ (m}^3\text{)}$
- . Forme de débit : plot ☐ 3 quartier ☐ faux quartier ☐ 3 autres ☐ 1
- . Mode de tranchage : dosse ☐ 7 quartier ☐ 2 faux quartier ☐ 1
- . Epaisseurs réalisées :
- sciages 18 mm ☐ 4 27 mm ☐ 4 41 mm ☐ 4 autres ☐ 3 (80 mm et 100 mm)
- 22 mm ☐ 34 mm ☐ 4 54 mm ☐ 4
- placages 3/10e ☐ 6/10e ☐ 8 autres ☐ 2
- . Quantité touchée par veine verte :
- moins de 1/4 ☐ 5 entre 1/4 et 1/2 ☐ 2 entre 1/2 et 3/4 ☐ 1 + de 3/4 ☐
- . Provenance des arbres touchés par veine verte :
- terrain en pente ☐ humide ☐ 1 sec ☐ fond de vallon ☐
- ne sait pas ☐ 7
- . Aspect des arbres touchés par veine verte :
- droit ☐ 2 penché ☐ courbé ☐ 2 avec fibre torse ☐ 1 normal : 2
- Dans le cas de bois avec fibre torse :
- le débitez-vous ? oui ☐ 4 non ☐ le tranchez-vous ? oui ☐ 2 non ☐ 4
- . Les billes ou billons avec veine verte ont-ils une conformité particulière ?
- ovale (non cylindrique) ☐ 2 contrefort ☐ 1 méplat ☐ non : 6
- . Les billes ou billons avec veine verte ont-ils des cernes différents de ceux sans veine verte ?
- non ☐ 5 oui ☐ 3 + fins ☐ + larges ☐ 4 autres ☐
- . Avez-vous observé des fentes plus ou moins importantes sur des billes ou billons de Merisier ?
- oui ☐ 3 non ☐ 6
- Si oui, ces billes ou billons fendus étaient-ils plus touchés par la veine verte ?
- oui ☐ 1 non ☐ 5
- . Avez-vous noté une relation entre l'aspect extérieur de la bille ou du billon et la qualité du produit obtenu ?
- non ☐ 4 oui ☐ 5
- Si oui, décrivez brièvement :
- bon aspect extérieur \Rightarrow bon produit mais parfois présence de Veine verte
- . Les morceaux atteints de veine verte se trouvent-ils dans :
- bille de pied ☐ 6 surbille ☐ proximité de branche, noeud ☐
- un peu partout ☐ 4
- . Comment se présente le défaut sur les débits, sur les placages :
- ligne, veine d'aspect verdâtre ☐ taches ☐ 1
- autres (décrivez brièvement) : 9

pas toujours visible à l'état frais mais apparaît plus tard.

.../...

- . Est-ce localisé ?
non ☒ 5 oui ☒ 2 partie courbe ☐ près de noeud ☒ 1
- . Avez-vous observé une différence d'usinage (sciage, tranchage) entre bois "normal" et bois avec veine verte ?
oui ☒ 1 non ☒ 5

Si oui, comment se présente-t-elle ?

bois avec veine verte plus nerveux.

- . Lors des débits, observez-vous des déformations importantes des produits lorsque le bois contient de la veine verte ?
non ☒ 1 oui ☒ 5
- . Est-ce que vos placages se déforment, gondolent (ou autre) là où il y a de la veine verte ?

- . Faites-vous différentes catégories de placages ou de sciages avec ou sans veine verte ?
non ☒ 1 oui ☒ 4

Si oui, comment faites-vous votre classement ?

*produit avec veine verte → déclassé (utilisation intérieure, partie cachée)
→ détruit*

- . Si vous purgez les produits avec défauts, ou si vous éliminez par massicotage, à combien estimez-vous la perte (en cube ou en surface) ?
moins de 1/4 ☒ 1 de 1/4 à 1/2 ☒ 3
de 1/2 à 3/4 ☐ + de 3/4 ☐

- . Séchez-vous vos produits ayant de la veine verte ?
oui ☒ 6 non ☐

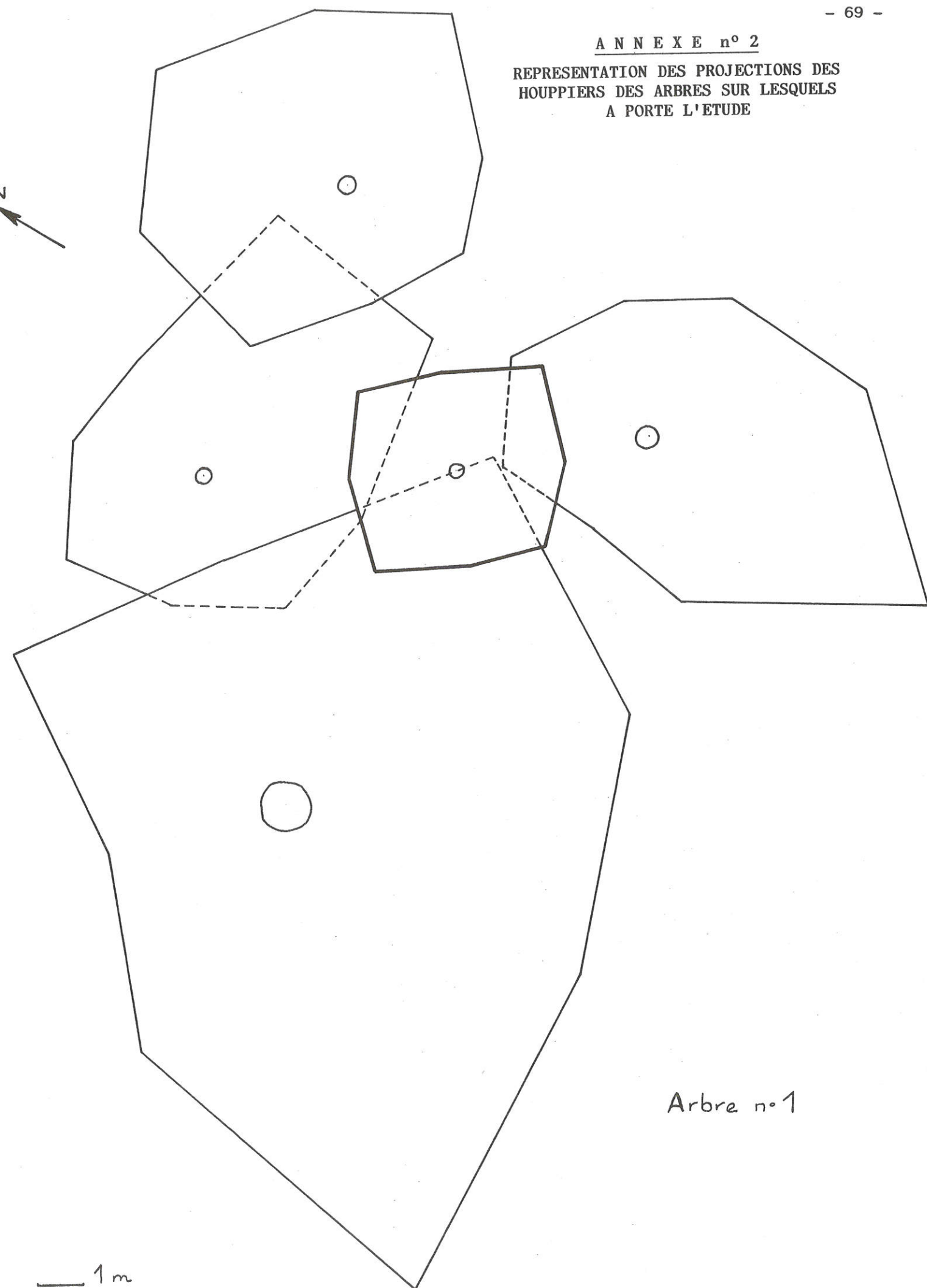
Si oui, y a-t-il des modifications

- 1 ☐ de couleur (couleur verte accentuée) 1 : *couleur atténuée.*
4 ☐ déformation
☐ fente
☐ autres

Si vous connaissez d'autres scieurs ou trancheurs de Merisier susceptibles de répondre à ce questionnaire, vous seriez aimable de nous en communiquer l'adresse.
Merci.

A N N E X E n° 2

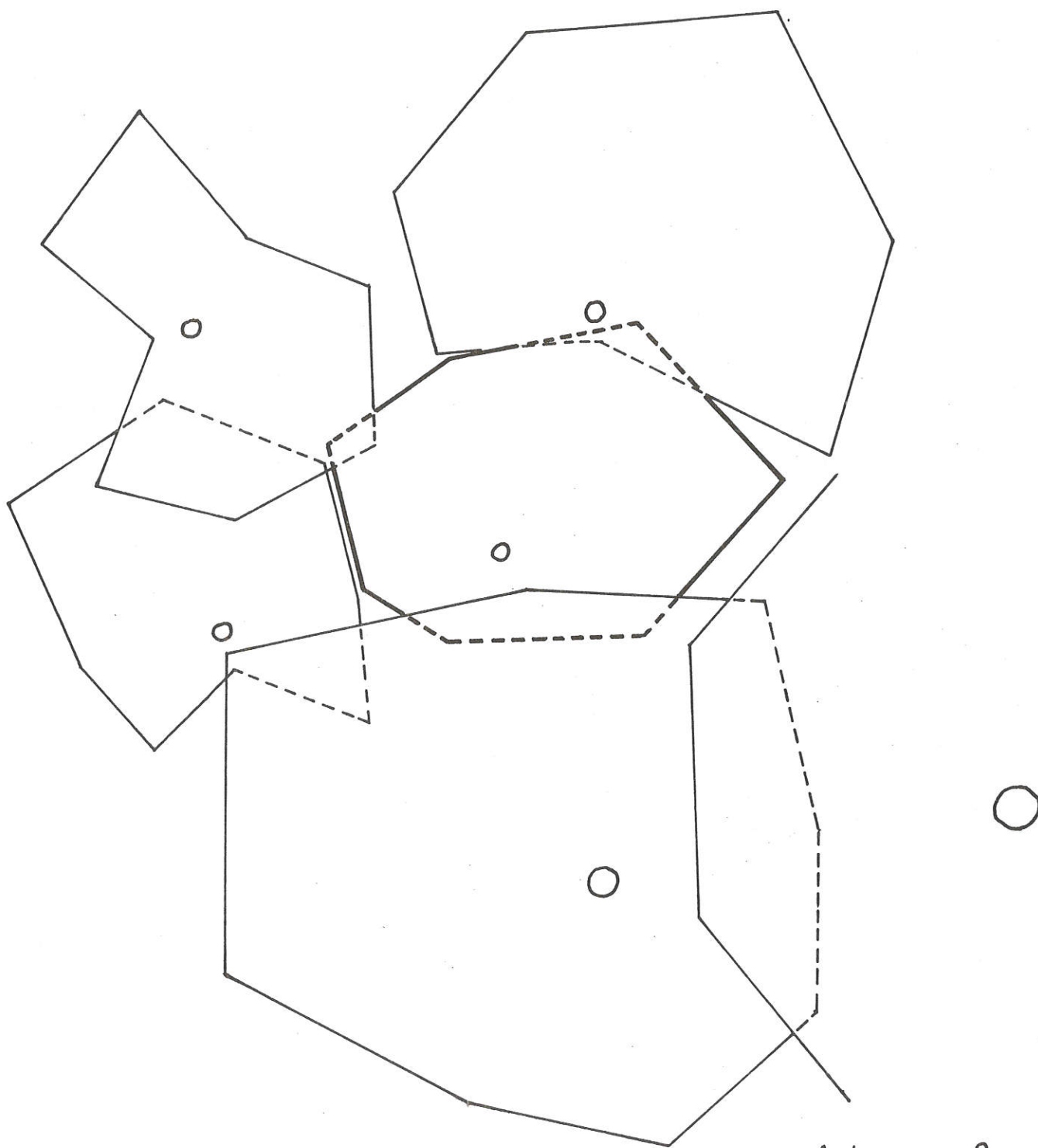
REPRESENTATION DES PROJECTIONS DES
HOUPPIERS DES ARBRES SUR LESQUELS
A PORTE L'ETUDE



Arbre n°1

— 1 m

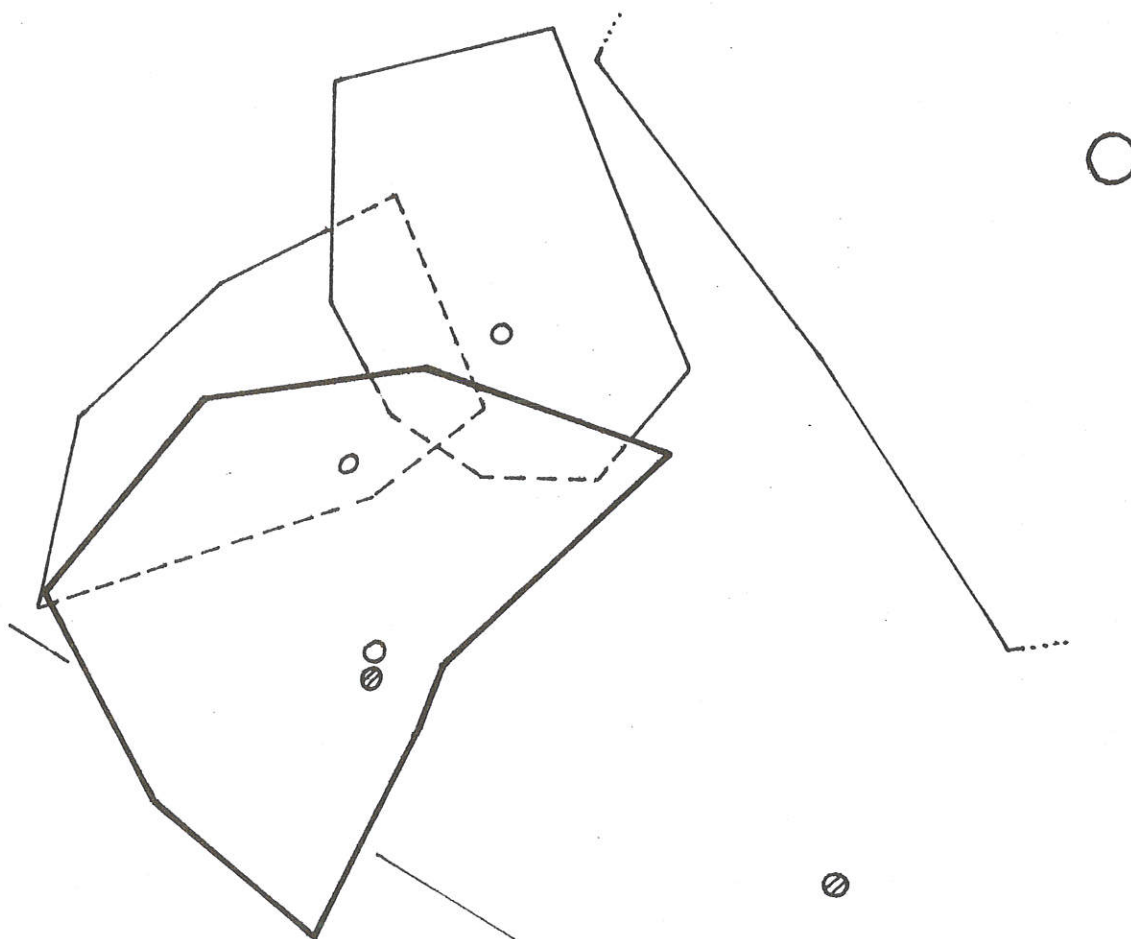
ANNEXE n° 2 (suite)



Arbre n° 2

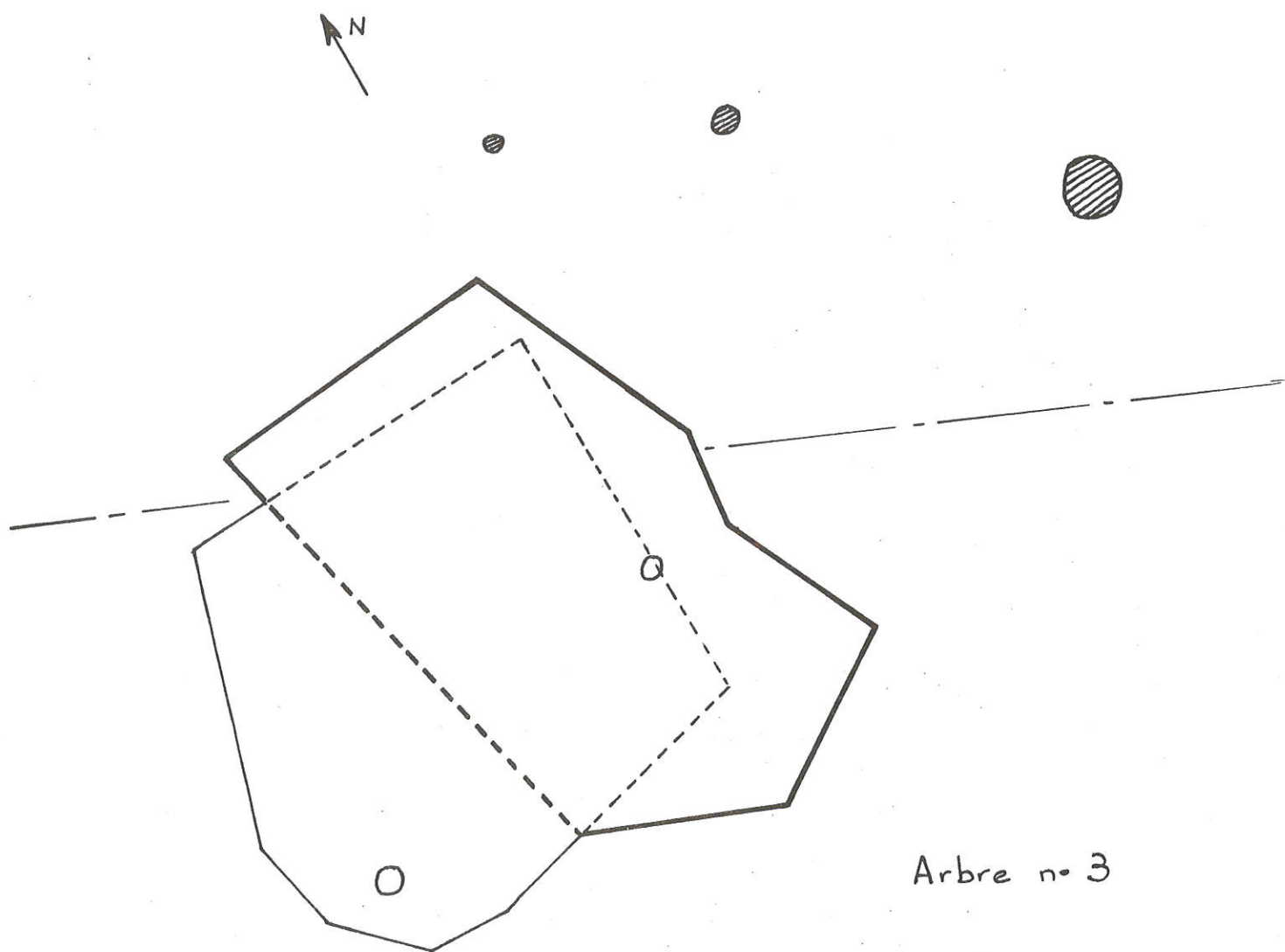
— 1m

ANNEXE n° 2 (suite)

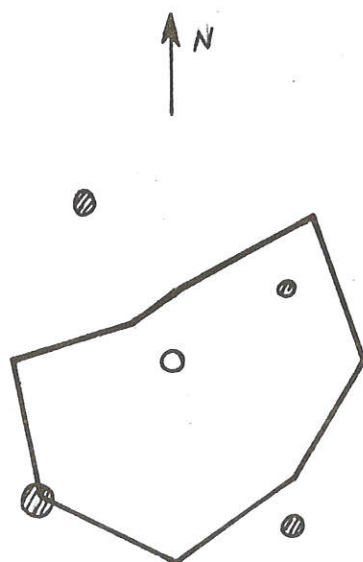


1m

Arbre n° 4

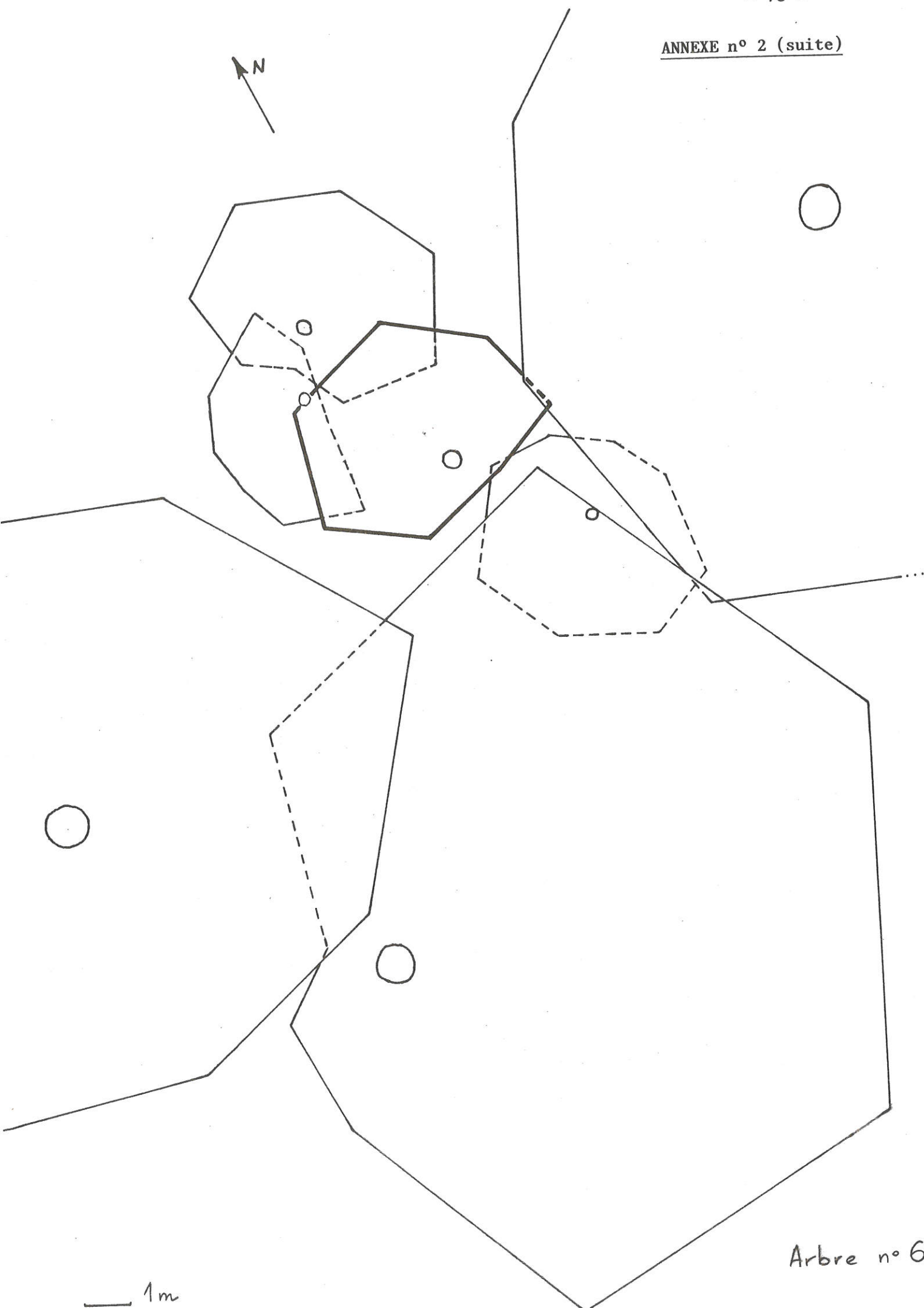


Arbre n° 3

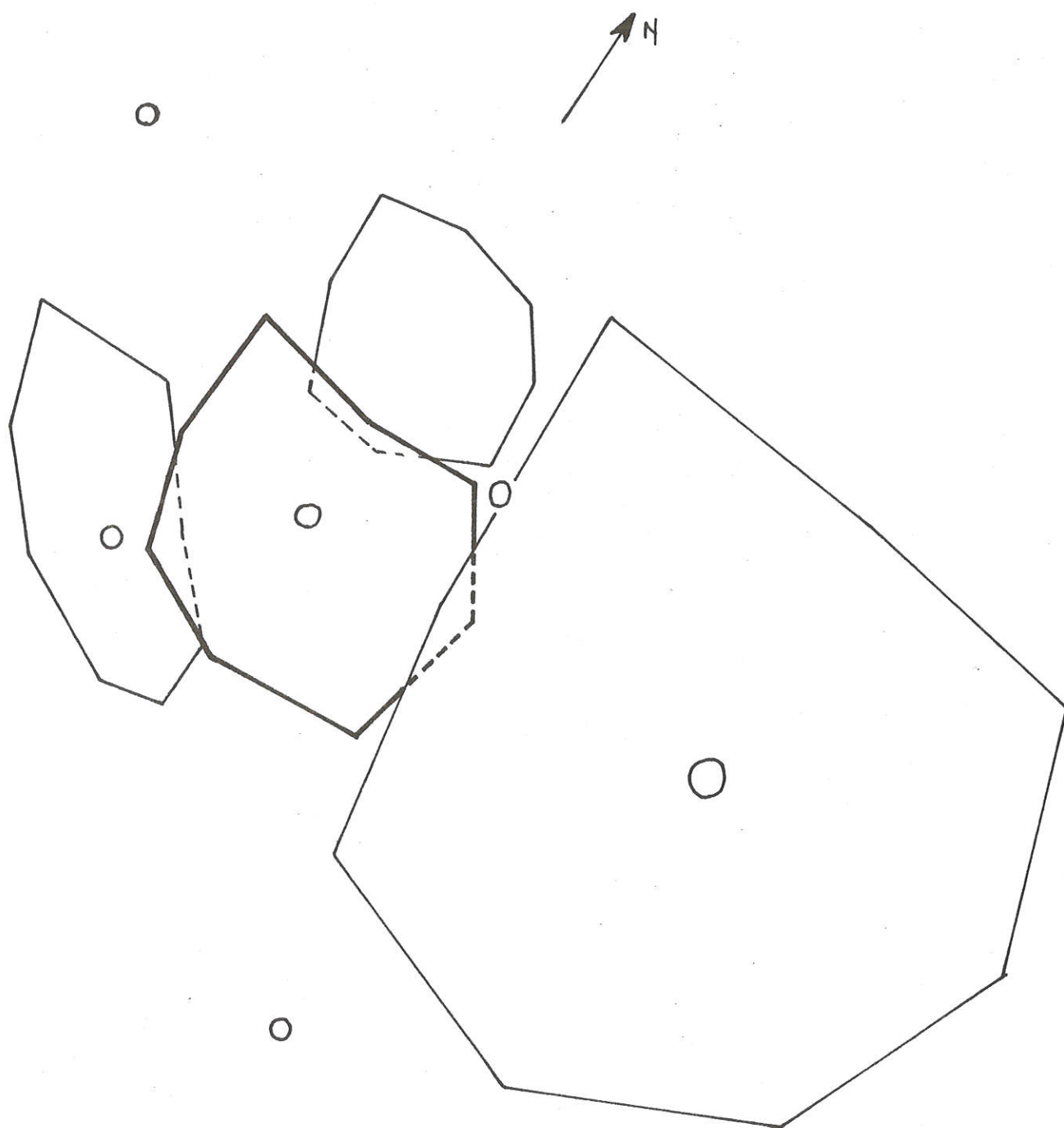


Arbre n° 5

ANNEXE n° 2 (suite)



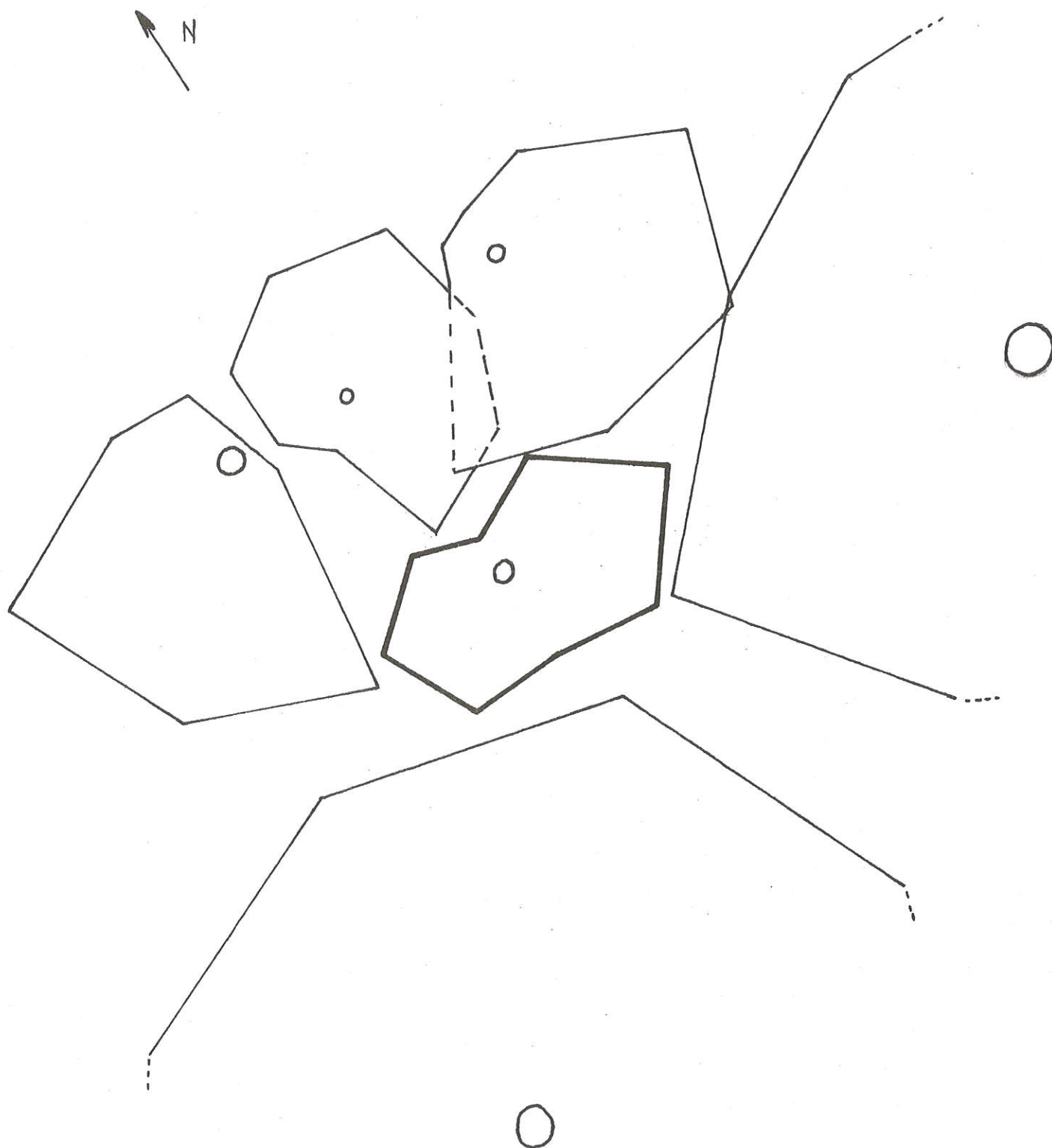
ANNEXE n° 2 (suite)



Arbre n° 7

— 1m

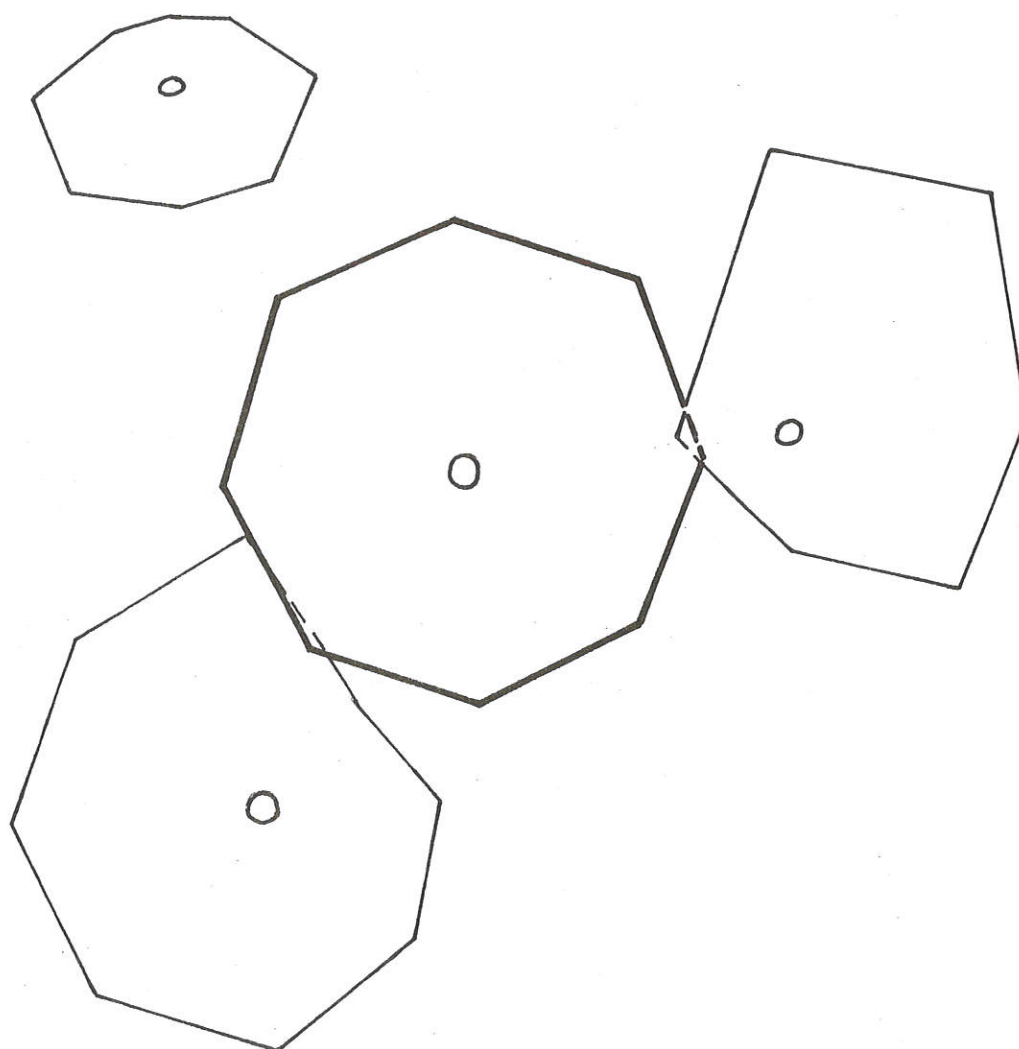
ANNEXE n° 2 (suite)



— 1m

Arbre n° 8

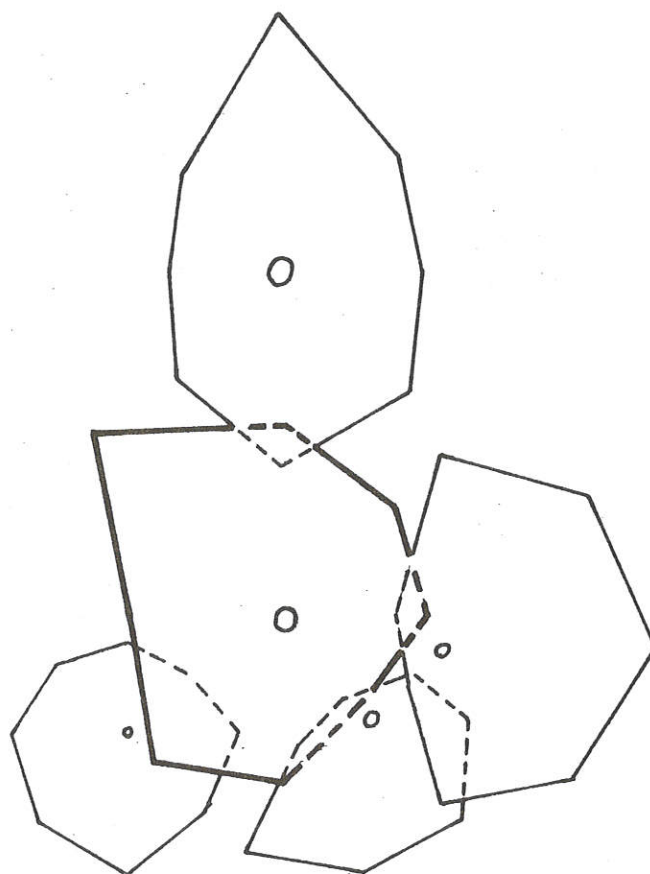
ANNEXE n° 2 (suite)



— 1m

Arbre n° 9

ANNEXE n° 2 (suite)



1m

Arbre n° 10

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	13	11	14	12	14	2	13	1	21	4	22	3
H5	9	15	10	16	4	15	3	16	2	19	1	20
H4	17	8	18	7	17	5	18	6	18	12	17	11
H3	6	19	5	20	7	20	8	19	10	15	9	16
H2	22	3	21	4	22	9	21	10	13	7	14	8
H1	1	24	2	23	12	23	11	24	5	23	6	24

ARBRE 1

ARBRE 2

ARBRE 3

ARBRE 4

ARBRE 5

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	21	9	22	10	19	5	20	6	13	6	12	24
H5	7	19	8	20	3	17	4	18	14	5	11	23
H4	17	6	18	5	16	2	15	1	15	4	10	22
H3	4	16	3	15	11	14	12	13	9	16	21	3
H2	14	1	13	2	23	10	24	9	8	17	20	2
H1	23	11	24	12	8	21	7	22	7	18	19	1

ARBRE 6

ARBRE 7

ARBRE 8

ARBRE 9

ARBRE 10

NUMERO D'ORDRE DES MESURES SUR L'ARBRE

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	740	995	740	910	845	170	190	1880	1150	375	670	1195
H5	1090	980	890	885	685	170	250	1145	1420	365	620	1055
H4	1370	1150	535	960	870	240	165	460	860	300	800	1310
H3	1770	1300	470	880	1560	470	115	365	1630	280	475	1550
H2	410	460	460	850	945	410	120	220	720	285	290	1345
H1	840	420	760	1210	1515	355	150	145	800	205	325	1600

ARBRE 1

ARBRE 2

ARBRE 3

ARBRE 4

ARBRE 5

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	320	500	440	670	510	720	545	595	335	540	535	560
H5	380	380	670	550	475	705	530	420	540	320	450	520
H4	395	400	820	545	940	710	425	390	320	860	690	355
H3	450	470	690	395	775	830	545	375	460	270	435	410
H2	630	380	605	310	710	600	470	270	710	160	600	550
H1	440	395	1035	500	955	860	440	445	390	340	420	310

ARBRE 6

ARBRE 7

ARBRE 8

ARBRE 9

ARBRE 10

DEFORMATIONS LONGITUDINALES RESIDUELLES MEASUREES A L'AIDE DU CAPTEUR "GUENEAU-SAURAT"
(valeurs "brutes" exprimées en microdéformations)

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	4951	4923	4929	4921	4936	4905	4953	4779	4890	4944	4954	4868	4830	4960	4962	4921
H5	4939	4939	4898	4928	4974	4926	4954	4813	4937	4938	4937	4832	4907	4968	4951	4939
H4	4872	4907	4923	4908	4918	4888	4907	4853	4918	4936	4914	4835	4759	4974	4972	4773
H3	4895	4929	4925	4895	4817	4922	4955	4910	4868	4950	4920	4789	4852	4979	4949	4814
H2	4896	4980	4932	4927	4787	4979	4981	4896	4968	4979	4974	4845	4856	4986	4954	4865
H1	4937	4957	4924	4913	4803	4932	4998	4921	4975	4946	4976	4879	4733	4986	4972	4917

ARBRE 1

ARBRE 2

ARBRE 3

ARBRE 4

ARBRE 5

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	4930	4959	4941	4936	4929	4947	4923	4892	4927	4937	4906	4940	4977	4945	4957	4940
H5	4941	4921	4930	4931	4949	4860	4949	4928	4930	4924	4921	4928	4924	4945	4961	4960
H4	4926	4934	4934	4928	4872	4926	4954	4934	4944	4944	4924	4907	4993	4969	4967	4966
H3	4934	4959	4938	4955	4902	4908	4935	4931	4941	4966	4933	4927	4955	4946	4957	4955
H2	4924	4959	4944	4961	4917	4939	4976	4925	4937	4940	4925	4937	4946	4969	4965	4948
H1	4929	4983	4923	4968	4907	4969	4966	4936	4942	4934	4948	4976	4941	4891	4957	4964

ARBRE 6

ARBRE 7

ARBRE 8

ARBRE 9

ARBRE 10

DIAMETRE TANGENTIEL MOYEN (DTAMO10)

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	2	1	0	2	0	1	1	2	0	0	0	0
H5	2	1	0	2	2	1	1	2	0	0	0	0
H4	2	1	0	2	2	1	1	2	0	0	0	0
H3	0	1	0	2	2	0	2	2	2	0	0	0
H2	1	1	0	2	2	0	0	0	2	0	0	0
H1	1	1	0	1	2	0	2	2	2	2	1	1

ARBRE 1

ARBRE 2

ARBRE 3

ARBRE 4

ARBRE 5

	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
H6	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
H5	1	0	1	1	0	0	1	0	0	2	0	0
H4	1	1	1	1	0	0	1	0	0	2	0	0
H3	0	0	0	0	2	0	2	2	0	2	0	0
H2	2	0	0	0	2	0	2	2	0	2	0	0
H1	2	0	0	0	0	1	0	0	2	2	0	0

ARBRE 6

ARBRE 7

ARBRE 8

ARBRE 9

ARBRE 10

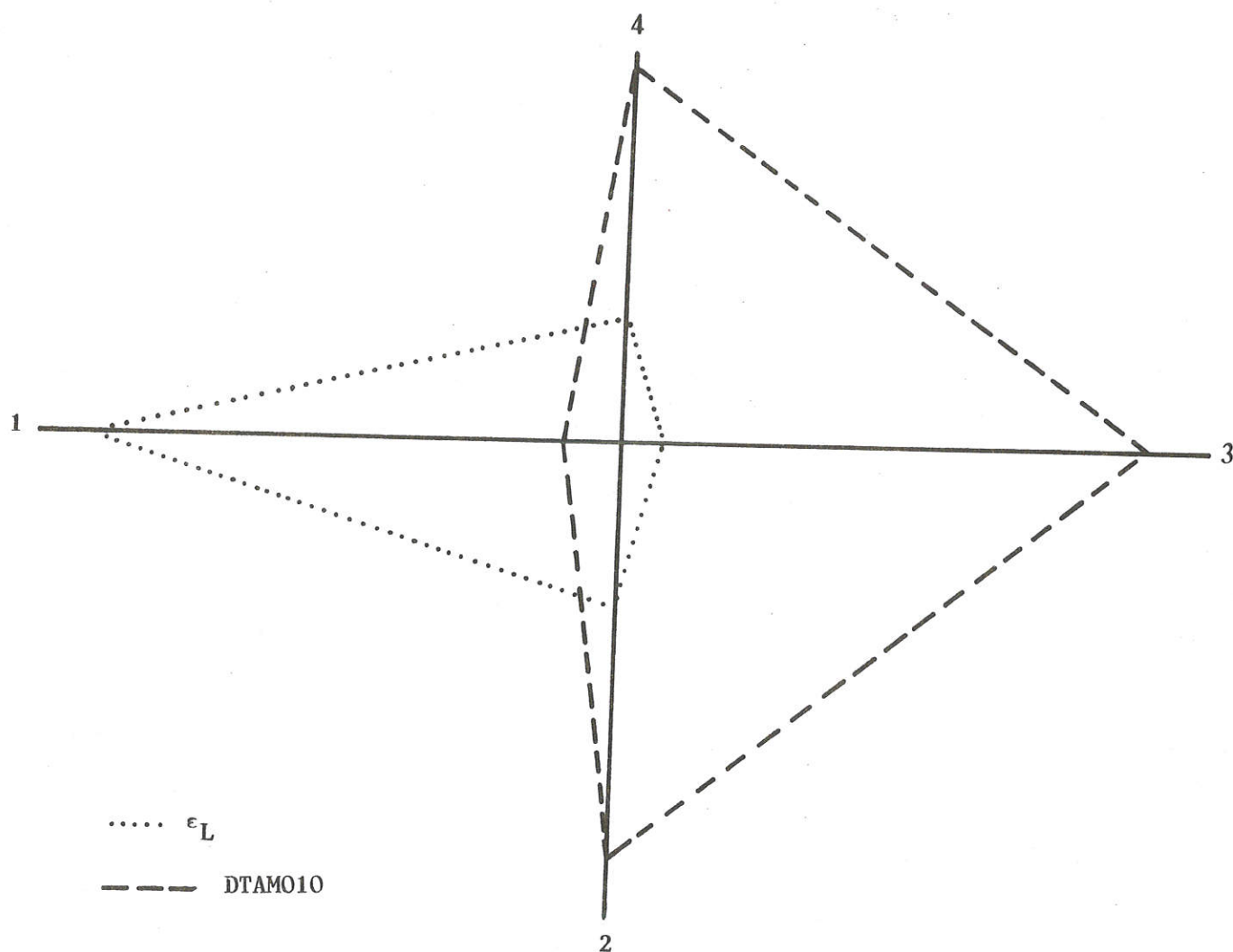
"NOTE" VEINE VERTE ATTRIBUEE A CHAQUE POINT DE MESURE

ANNEXE n° 7

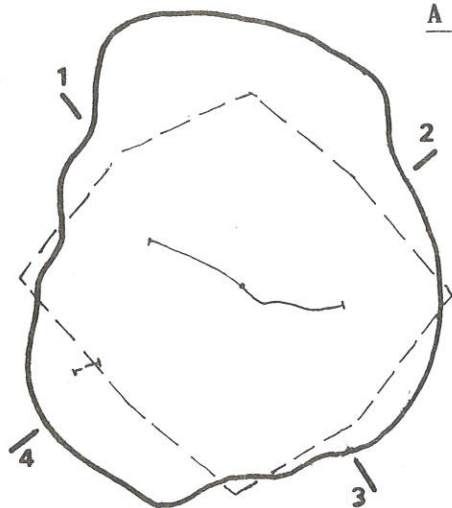
ABSCISSE=	VAR. NO	2	DEF. LONG	MGY=	0.6145332E+03	ET=	0.4389094E+03	MIN=	0.6000000E+02	MAX=	0.2830000E+04
ORDONNEE=	VAR. NO	45	DTANG	MGY=	0.4927992E+04	ET=	0.4341812E+02	MIN=	0.4733500E+04	MAX=	0.5011098E+04
			CORRELATION=	-0.6489695E+00	NB D'OBSERVATIONS=	240					
LIGNE	NB	ORDONNEE									
1	1	0.5011E+04	1								
		0.5005E+04									
3	1	0.5000E+04	1								
4	2	0.4994E+04		1							
5	2	0.4988E+04		1							
6	5	0.4983E+04	1	111	1						
7	10	0.4977E+04		221	21	1	1				
8	7	0.4971E+04		1	3	1	1				
9	10	0.4966E+04		1	122	11	1				
10	15	0.4960E+04	12	132	11	12	1				
11	15	0.4950E+04	11	111	131	2	1				
12	17	0.4949E+04	1	1	12	4	1				
13	15	0.4943E+04	1	1	12	2	1				
14	22	0.4937E+04	1	1	123	4	11				
15	19	0.4932E+04	1	1	123	1	11				
16	27	0.4926E+04	11	331	1221	111	1	2	1	1	
17	13	0.4920E+04	1	1	1211	1	11				
18	5	0.4915E+04	1	1	2	1	1	2	1		
19	10	0.4909E+04	1	1	2	1	1				
20	3	0.4903E+04	1	1							
21	4	0.4898E+04	1	1							
22	7	0.4892E+04	11	1							
23	2	0.4886E+04	1	1							
24	4	0.4881E+04									
25	1	0.4875E+04									
26	3	0.4869E+04									
27	1	0.4864E+04									
28	2	0.4858E+04									
29	2	0.4852E+04									
30	1	0.4847E+04									
31	1	0.4841E+04									
32	1	0.4835E+04									
33	2	0.4830E+04									
		0.4824E+04									
35	1	0.4818E+04									
36	2	0.4813E+04									
		0.4807E+04									
38	1	0.4801E+04									
		0.4796E+04									
40	2	0.4790E+04									
		0.4784E+04									
42	1	0.4779E+04									
43	1	0.4773E+04									
		0.4767E+04									
45	1	0.4762E+04									
		0.4756E+04									
		0.4750E+04									
		0.4745E+04									
		0.4739E+04									
50	1	0.4734E+04									

LIAISON ENTRE LA DEFORMATION LONGITUDINALE MESUREE A L'AIDE
DU CAPTEUR "GUENEAU-SURAT" (ϵ_L) ET LE DIAMETRE TANGENTIEL DES CAROTTES (DTAMO10)

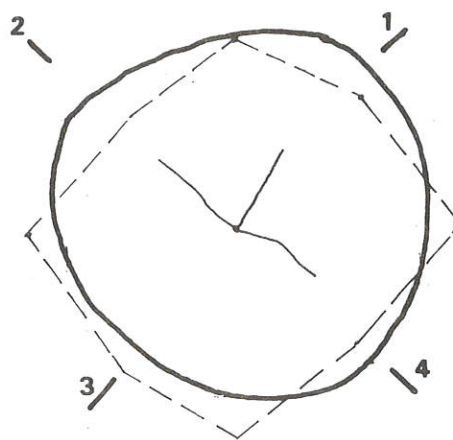
A N N E X E n° 8



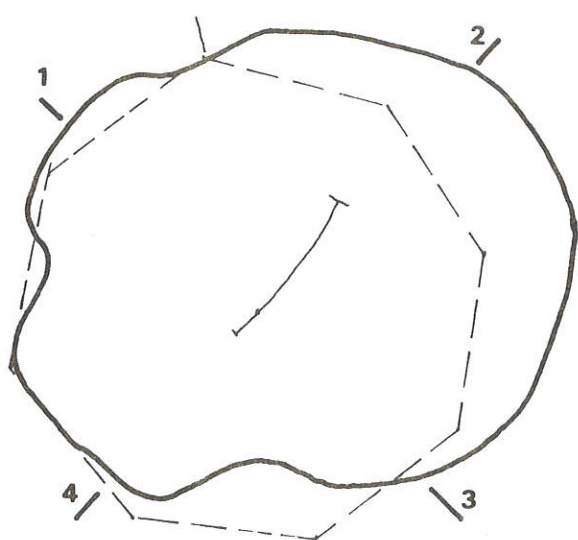
EXEMPLE DE CORRESPONDANCE ENTRE DIAMETRE TANGENTIEL DE CAROTTE
ET DEFORMATION LONGITUDINALE MESUREE SUR UNE MEME CIRCONFERENCE (arbre 2, H3)



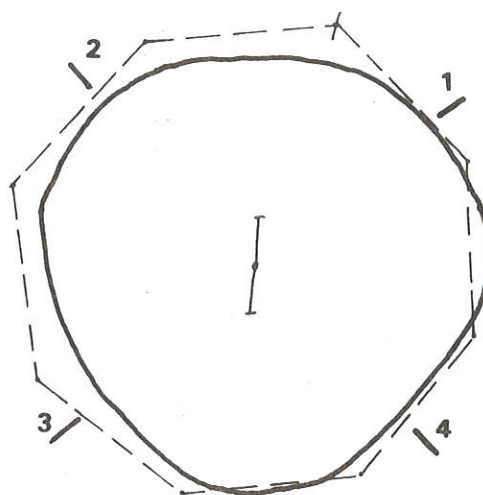
1.1 A inf



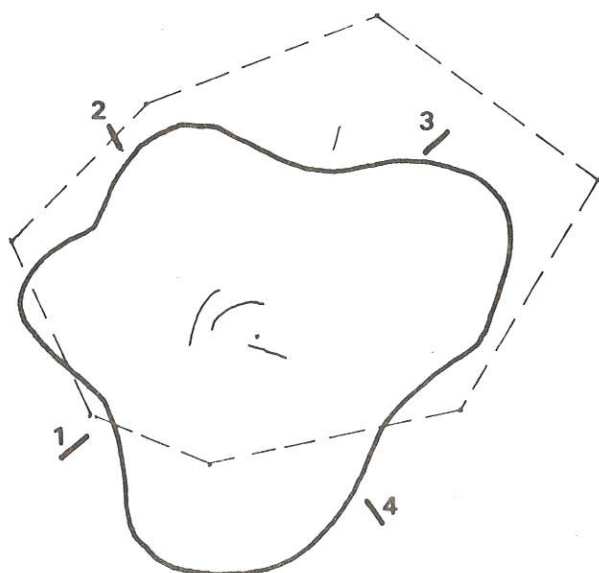
1.1 A sup



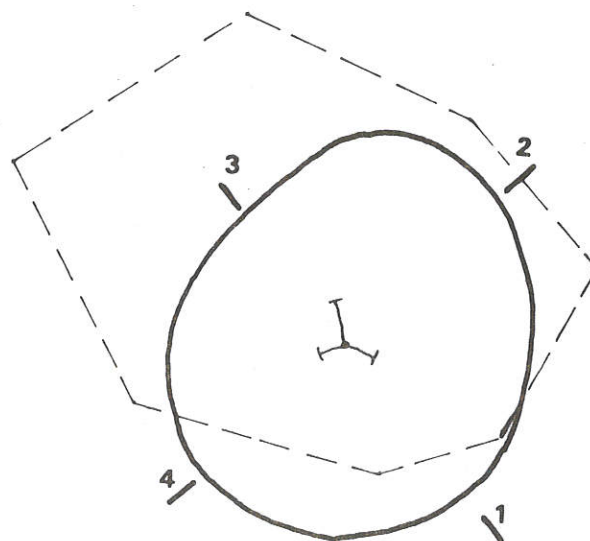
9.1A' inf



9.1A sup



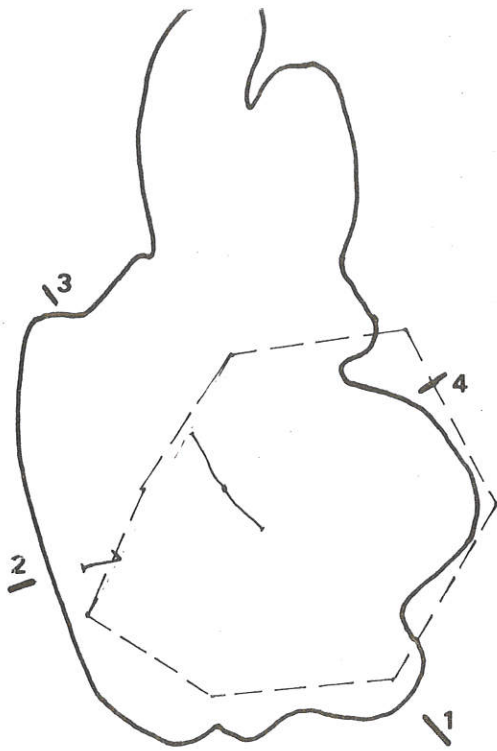
2.1 A inf



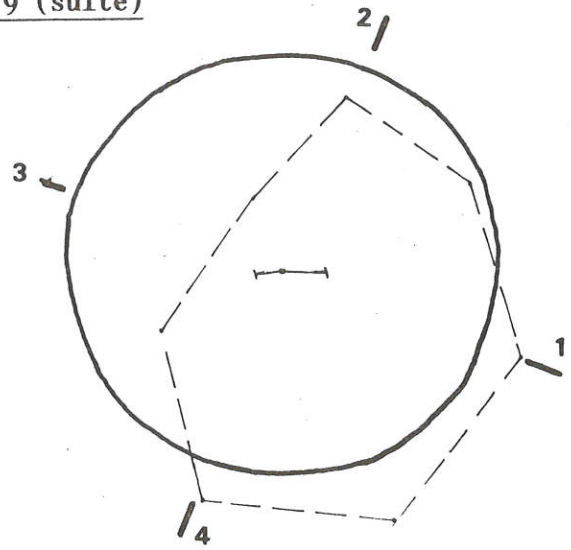
2.1 A sup

DESSIN DES FENTES APPARUES APRES ABATTAGE

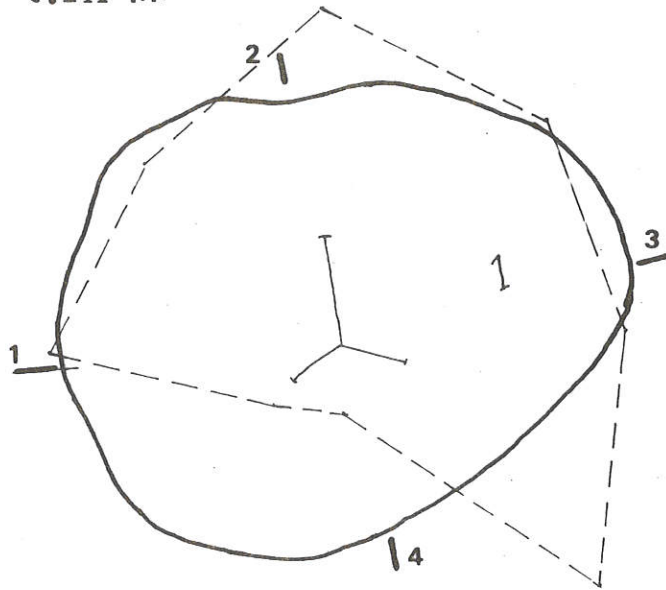
(le houppier est indiqué sur chaque vue, de même que les 4 orientations des points de mesure)



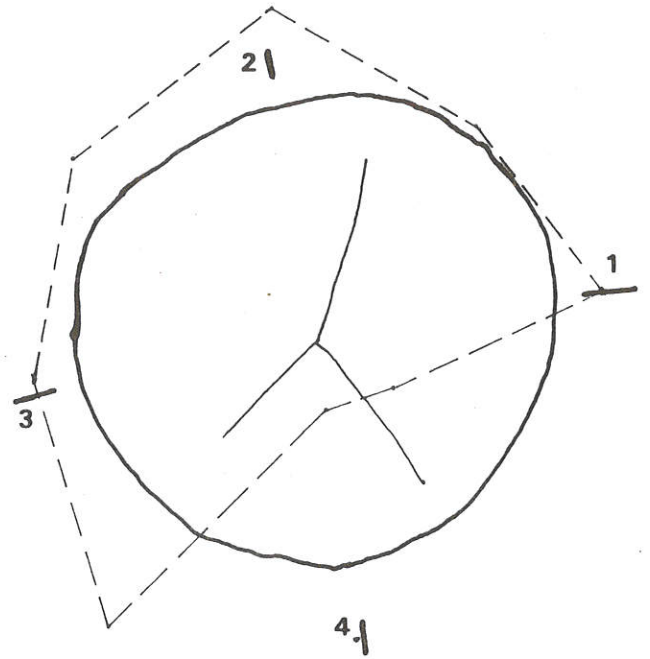
6.1A inf



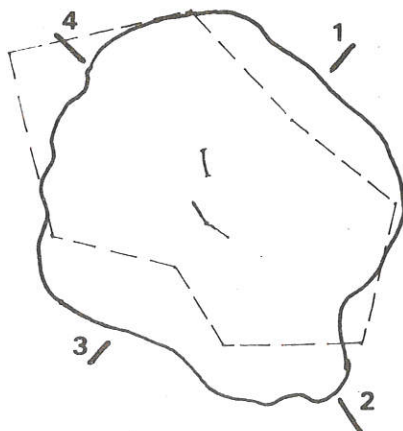
6.1A sup



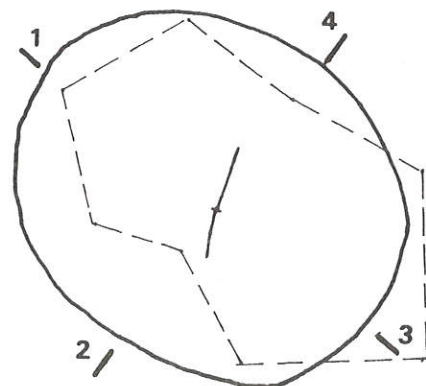
4.1A inf



4.1A sup

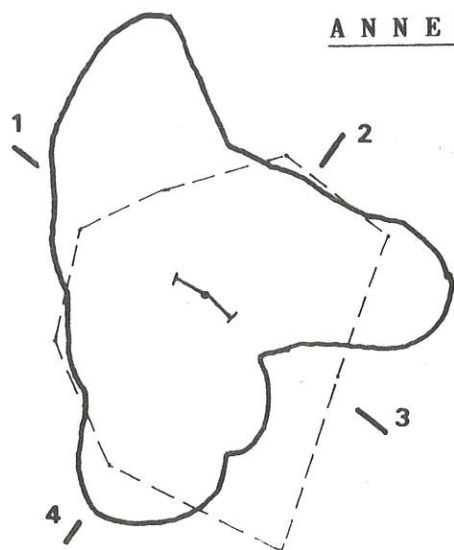


8.1A inf

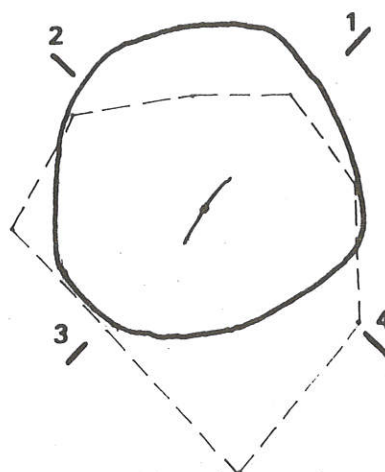


8.1A sup

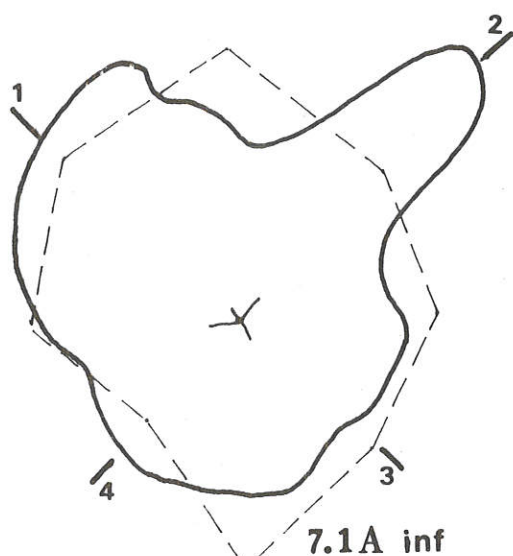
ANNEXE n° 9 (suite)



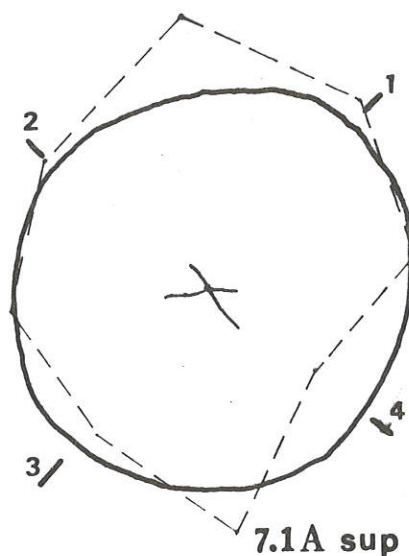
10.1A inf



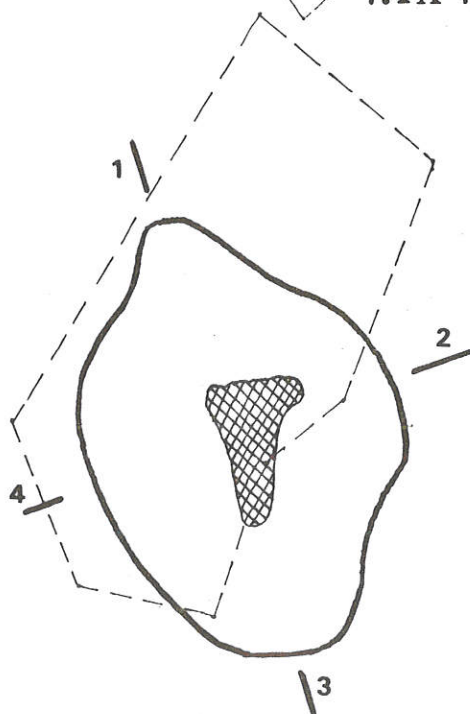
10.1A sup



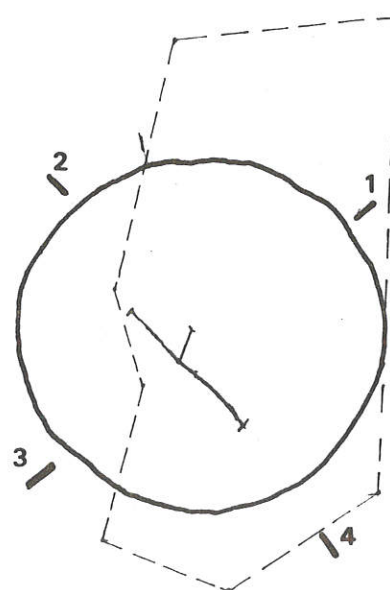
7.1A inf



7.1A sup



3.1A inf



3.1A sup

ANNEXE n° 10

PHOTO DE LA SECTION SUPERIEURE DU BILLON 1.1.A
MONTRANT DEUX TYPES DE FENTES RADIALES



